

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROECOLOGÍA
MENCIÓN EN GESTIÓN EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y
AGUA



HUELLA DE CARBONO EN LA FINCA CAFETALERA ORGÁNICA "SAN ALBERTO", OXAPAMPA, PASCO

Tesis

Para optar el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN: GESTIÓN EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

KELLY DEYANIRA AYALA AGUIRRE

Tingo María – Perú

2024

[Handwritten signature]
20/11/24

[Handwritten signature]
V.B.
20/11/24

[Handwritten signature]
V.B.
20/11/24

[Handwritten signature]
A. Ayala

[Handwritten signature]
20/11/24



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIDAD DE POSGRADO
DIRECCIÓN



"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA
CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
Nro. 007-2024-UPG-FRNR-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 09:00 a.m. del martes 23 de julio de 2024, reunidos de manera presencial en la sala de Grados y Títulos del Paraninfo, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

**"HUELLA DE CARBONO EN LA FINCA CAFETALERA ORGÁNICA
"SAN ALBERTO", OXAPAMPA, PASCO"**.

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión de Suelos y Agua AYALA AGUIRRE, KELLY DEYANIRA.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO** Acto seguido, a horas **11:20 a.m** el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....
Dr. VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO
Presidente del Jurado

.....
Blgo. M.Sc. CESAR AUGUSTO GOZME SULCA
Mjembro del Jurado

.....
Ing. M.Sc. EDILBERTO DIAZ QUINTANA
Mjembro del Jurado

.....
Dr. EDILBERTO CHUQUILIN BUSTAMANTE
Asesor

.....
Dr. CASIANO AGUIRRE ESCALANTE
Asesor



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 348 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Maestría en Gestión de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
HUELLA DE CARBONO EN LA FINCA CAFETALERA ORGÁNICA "SAN ALBERTO", OXAPAMPA, PASCO	Kelly Deyanira Ayala Aguirre	18 % Dieciocho

Tingo María, 28 de noviembre de 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROECOLOGÍA

MENCIÓN: GESTIÓN DE SUELOS Y AGUA



HUELLA DE CARBONO EN LA FINCA CAFETALERA ORGÁNICA “SAN ALBERTO”, OXAPAMPA, PASCO

- Autor** : Kelly Deyanira Ayala Aguirre
- Asesor(es)** : Dr. Edilberto Chuquilin Bustamante
Dr. Casiano Aguirre Escalante
- Programa de investigación** : Cambio climático
- Línea de investigación** : Escenarios climáticos futuros y sus potenciales impactos en los recursos de suelo y agua
- Eje temático de investigación** : Degradación y uso de suelo y su efecto en el cambio climático
- Lugar de ejecución** : Oxapampa – Perú
- Duración del trabajo** : 1 año
- Financiamiento** : S/ 4 500.00 soles

Tingo María – Perú

2024

DEDICATORIA

A Dios, por guiar mis pensamientos y acciones por el camino del bien y mejorar como persona.

A mis padres; Fortunato, Cirila y a mi hermana Vianey y sobrinos Rusman y Luther

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme siempre fuerzas y sabiduría para continuar mi camino.

A mi asesor Dr. Casiano Aguirre Escalante y el Dr. Edilberto Chuquilin Bustamante, por brindarme la orientación en la ejecución del presente estudio.

Al Ing. Msc. Víctor Beteta Alvarado, presidente de jurados, por su orientación y conocimientos en la mejora de la investigación.

Al Ing. M. Cs. Edilberto Diaz Quintana y Blg. Cesar Augusto Gozme Sulca, miembros de jurados quienes aportaron con su experiencia y observaciones, que fueron necesarios en la investigación.

Al Ing. Jorge Mattos Olavarría y Dr. Jesús Hernández por su apoyo en la instalación de los Transectos Integrales de Monitoreo, así como en el apoyo con su asesoramiento.

A la Ing. Diana Rodríguez Mucha coordinadora de la Finca “San Alberto” y al Ing. José Santos Aquiles Vallardo por apoyarme con la otorgación de los datos de su finca.

ÍNDICE

	Página.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes de investigación	3
2.2.1. Internacional	3
2.2.2. Nacional	6
2.2.3. Local	8
2.2. Marco teórico	8
2.2.1. Cambio climático.....	8
2.2.2. Efecto invernadero.....	9
2.2.3. Potencial de calentamiento global (PCG).....	10
2.2.4. Fuente de emisiones de Gases de Efecto Invernadero.....	10
2.2.5. Emisiones de GEI en el Perú	10
2.2.6. Emisiones de GEI por la aplicación de fertilizantes.....	11
2.2.7. Emisiones de GEI en el proceso de compostaje	14
2.2.8. Emisiones de GEI en la eliminación de las aguas residuales	15
2.2.9. Almacenamiento y fijación de carbono en sistemas agroforestales	15
2.2.10.Fincas cafetaleras en el Perú	15
2.2.11.Procesos del manejo del café	16
2.2.12.Procesos del beneficiado húmedo y seco del café.....	16
2.2.13.Huella de carbono.....	17
2.2.14.Alcances de la huella de carbono	17
2.2.15.Metodología del cálculo de la huella de carbono	17
2.2.18.Organización Internacional de Normalización (ISO).....	18
2.2.19.GHG Protocol “estándar corporativo de contabilidad y reporte	18
2.2.20.PAS 2050.....	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. Lugar de ejecución	20
3.1.1.Ubicación geográfica y política.....	20
3.1.2. Aspectos ambientales	20
3.2. Materiales y equipos	21
3.2.1.Materiales	21

3.2.2. Equipos.....	21
3.3. Métodos.....	22
3.3.1. Población.....	22
3.3.2. Tamaño de muestra.....	22
3.3.3. Muestreo.....	23
3.3.4. Variables evaluadas.....	23
3.3.4.1. Variables independientes.....	23
3.3.4.2. Variables dependientes.....	23
3.3.5. Cuantificación del carbono aéreo almacenado en los árboles y cafetales en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”.....	24
3.3.5.1. Geoposicionamiento de los árboles y plantas de café.....	24
3.3.5.2. Medición de las variables de diámetro y altura en las especies forestales.....	24
3.3.5.3. Medición de las variables de diámetro y altura de las plantas de café.....	24
3.3.5.4. Colecta de datos para la generación de la ecuación de volumen de los árboles.....	25
3.3.5.5. Cálculo del almacenamiento y fijación de carbono en la biomasa aérea del café.....	25
3.3.5.6. Cálculo del almacenamiento y fijación de carbono en la biomasa aérea de los árboles.....	26
3.3.6. Cálculo de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) totales generadas en el manejo y procesamiento del grano del café en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”.....	27
3.3.6.1. Cuantificación de las emisiones de GEI por aplicación de fertilizantes sintéticos, úrea y orgánicos.....	31
3.3.6.2. Cuantificación de las emisiones de GEI por aplicación de úrea.....	31
3.3.6.3. Cuantificación de las emisiones de GEI por el consumo de combustibles.....	32
3.3.6.4. Cuantificación de las emisiones de GEI por el consumo de electricidad.....	
3.3.6.5. Cuantificación de las emisiones de GEI por el consumo aceites lubricantes.....	32

3.3.6.6. Cuantificación de las emisiones de GEI por la disposición de las aguas residuales del proceso.....	33
3.3.6.7. Cuantificación de las emisiones de GEI por la disposición de los residuos sólidos municipales y compostaje	33
3.3.7. Determinación de la huella de carbono en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1. Cuantificación del carbono aéreo almacenado en los árboles y cafetales en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”	35
4.1.1. Cuantificación de carbono aéreo almacenado en las plantas de café .	36
4.1.2. Cuantificación del carbono aéreo almacenado en los árboles.	37
4.2. Cálculo de las emisiones de los GEI totales generadas en el manejo y procesamiento del grano del café en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”	37
4.3. Determinación de la huella de carbono en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”	44
V. CONCLUSIONES	45
VI. PROPUESTAS A FUTURO	46
VII. REFERENCIAS	47
ANEXO	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Coordenadas UTM del lugar de ejecución	20
2. Coordenadas UTM de los 09 sitios de evaluación del TIM	23
3. Fuentes de emisión de GEI en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Pasco.	30
4. Fijación de carbono en la biomasa aérea en el sistema agroforestal de la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.	36
5. Emisiones de los GEI debido al manejo del cultivo de café y en el procesamiento del grano de café en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.	38
6. Resultado de las emisiones de CO ₂ en las actividades y procesos de la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.	39
7. Emisiones de CO ₂ e en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.	42
8. Fuentes de emisión identificadas en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.	43
9. Huella de carbono en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.	44
10. Carbono almacenado en cada sitio de evaluación en las plantas de café	55
11. Carbono almacenado en cada sitio de evaluación en los árboles	55
12. Potencial de Calentamiento Climático (PCC)	56
13. Factor de emisión de N ₂ O por uso de fertilizantes sintéticos y orgánicos	56
14. Factor de emisión de CO ₂ , N ₂ O y CH ₄ de por tipo de combustible	56
15. Factor de emisión de CH ₄ , por tipo de tratamiento de aguas residuales industriales.	56
16. Factor de emisión de CH ₄ , y N ₂ O por tratamiento mediante compostaje de los residuos.	56
17. Factor de emisión de CO ₂ , por consumo de electricidad en alcance 2.	57
18. Factor de emisión de CO ₂ , por emisión del uso de bolsas de trilamina.	57
19. Potencia de los equipos para el procesamiento del café.	57

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página.
1. Emisiones de GEI en la subcategoría agricultura 2016.....	11
2. Ciclo de nitrógeno y las emisiones de GEI provenientes de los suelos agrícolas.	14
3. Límites del sistema.	18
4. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.....	21
5. Método de ubicación de los árboles y plantas de café (IFER, 2011).....	24
6. Diagrama de flujo de entrada y salida para el proceso de manejo del cafetal.....	28
7. Diagrama de flujo de entrada y salida para la cosecha del café.....	28
8. Diagrama de flujo de entrada y salida para el proceso de despulpado del café.....	28
9. Diagrama de flujo de entrada y salida para el proceso del secado del café.....	29
10. Diagrama de flujo de entrada y salida para el proceso de trillado del café.....	29
11. Diagrama de flujo de entrada y salida para el proceso de tostado del café.....	29
12. Diagrama de flujo de entrada y salida para el proceso de molido del café.	29
13. Diagrama de flujo de entrada y salida para el envasado del café.....	30
14. Emisión anual de CO ₂ por cada actividad en la Finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.....	41
15. Planta procesadora para café cerezo “Abigail” para el proceso de despulpado y lavado del café cerezo.....	58
16. Colecta de muestra del agua residual del despulpado del café.....	58
17. Envasado de la muestra del agua residual del proceso de despulpado del café.	59
18. Secador solar del café.....	59
19. Clasificación del café pergamino.....	60
20. Equipo de trillado del café.....	60
21. Máquina de tostado del café.....	61
22. Máquina para el molido del café.....	61
23. Máquina para el sellado del empaque del café.....	62
24. Compostera.....	62
25. Geoposicionamiento de los árboles y café con la tecnología Field Map.....	63
26. Sistema agroforestal de café en la finca “San Alberto”.....	63

RESUMEN

El cambio climático está afectando negativamente en diferentes continentes, en este contexto, la caficultura, debe enfocarse a cambios que mitigación y adaptación al cambio climático. El objetivo de la investigación fue evaluar la huella de carbono en la finca cafetalera “San Alberto”, para ello, se determinó la fijación de CO₂ en la biomasa aérea mediante la generación de la ecuación de volumen mediante la metodología de IFER (2011), mientras que, para la cuantificación de las emisiones de los GEI, se realizó mediante la metodología del IPCC. Se obtuvo una fijación anual de 28,6 tn CO₂ de las cuales los árboles fijaron 21,7 tn CO₂ y el café 6,9 tn CO₂, mientras que, la generación de las emisiones fue de 2 274,2 kg CO₂/año, el 77 % de las emisiones corresponde al proceso del manejo de la finca, de las cuales la fertilización contribuyó en mayor medida con un 53.3%, y el 23% de las emisiones de GEI (522,14 kg CO₂) se generaron de las actividades del procesamiento del grano del café, de las cuales la mayor emisión fue generada en el tratamiento de las aguas residuales con un 12,32%, se obtuvo una emisión total de 1,34 kg CO₂ e/kg café verde y 1,62 kg CO₂ e/kg café molido. Se concluye que el balance neto de la huella de carbono resultó ser positivo, es decir, hay una mayor fijación que emisiones, en caso del café oro verde fija 15,943 kg CO₂e /kg de café verde y 15,66 kg CO₂e/kg café molido.

Palabras clave: Huella de carbono, gases de efecto invernadero, emisiones, café oro verde.

ABSTRACT

Climate change is having negative effects on different continents; within this context, coffee culture should be focused on changes that mitigate and adapt to the climate change. The objective of the research was to evaluate the carbon footprint on the “San Alberto” coffee farm; to do this, the fixation of the CO₂ in the aerial biomass was determined by generating the volume equation using the IFER methodology (2011); meanwhile, the quantification of the GHG (GEI in Spanish) emissions was done using the IPCC methodology. An annual fixation of 28.6 t of CO₂ was obtained, of which, the trees fixated 21.7 t of CO₂ and the coffee 6.9 t of CO₂; meanwhile, the generation of the emissions was 2274.2 kg of CO₂/year, [where] 77 % of the emissions corresponded to the management process of the farm, of which, the fertilization contributed in the greatest measure with 53.3% and 23% of the GHG emissions (522.14 kg of CO₂) were generated by the activities for processing the coffee beans, of which the greatest emission was generated from the treatment of the waste water at 12.32%. A total emission of 1.34 kg of CO₂ e/kg of green coffee and 1.62kg of CO₂ e/kg ground coffee was obtained. It was concluded that the net balance of the carbon footprint turned out to be positive, which is to say, there is more fixation than emissions; in the case of the green whole bean coffee, 15.943 kg of CO₂e /kg of green coffee and 15.66 kg of CO₂e/kg of ground coffee was fixated.

Keywords: carbon footprint, greenhouse gas effect, emissions, green coffee beans

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe pruebas que el cambio climático está afectando negativamente en diferentes continentes como, por ejemplo: el incremento de la temperatura, disminución de la disponibilidad de agua y el aumento del número de desastres climáticos. El calentamiento global en el sistema climático es inequívoco, está confirmado con un 95% de confianza que la causa principal son las actividades humanas, asimismo, la fuente principal es el aumento de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI), que se han registrado en niveles históricamente altos en las últimas décadas. El informe del IPCC (2014) afirma que las actividades agrícolas representan el 14% de las emisiones globales de GEI producto del óxido nitroso y metano, provenientes de la fermentación entérica, producción bajo inundación y fertilización con nitrógeno, en particular, las emisiones generadas por el cultivo del café contribuyen con las emisiones a causa de la fertilización, uso de combustibles, úrea y emisiones de N₂O por volatilización y lixiviación, mientras que, en la industria para el procesamiento del café, las emisiones se dan en las áreas del beneficiado húmedo y seco, cuyas actividades requieren del uso de energía, combustibles que a su vez, generan residuos que contribuyen a la emisión de GEI, en este contexto, las actividades agrícolas deben direccionarse hacia cambios que mitiguen y se adapten al cambio climático, el café es una de los principales exportaciones agrícolas del Perú, para el año 2023 el SEIA presentó en su geoportal que 223 738 familias cosecharon el cultivo de café en una extensión de 213 214,1 ha, convirtiéndose en el segundo cultivo con mayor extensión en el Perú, en la región de Pasco registró a 4 104 productores de café, bajo esta perspectiva la caficultura debe enfocarse a cambios que mitiguen sus emisiones. Surge entonces la necesidad de utilizar herramientas e indicadores que reflejen una información, de esta manera se toma decisiones con miras hacia la sostenibilidad, para ello, es importante contar con indicadores, índices, entre otros, como es el caso de la huella de carbono que consiste en la evaluación del ciclo de vida en la que se limita el análisis únicamente a aquellas emisiones que tienen efecto sobre el cambio climático.

La Finca cafetalera “San Alberto” se encuentra ubicada en el Distrito de Oxapampa, Región Pasco, tiene como producto principal la venta de café molido mediante la empresa Oxalecker que actualmente cuenta con el sello de aliados para la conservación y de la Marca BIOAY otorgada por la Reserva de Biosfera Oxapampa Ashaninka – Yanesha, lo que destaca su desempeño en la sostenibilidad de sus productos, en esa línea, la empresa con el objetivo de mejorar su sostenibilidad busca producir un café carbono neutro de forma sostenible y rentable,

sin embargo, no cuenta con una información base que le permita identificar las actividades que implican una mayor emisión de GEI, por ello, la presente investigación buscó responder ¿Cuánto es la huella de carbono en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco? el estudio constituirá una base para identificar qué procesos contribuyen en mayor medida en la generación de las emisiones de GEI con la finalidad de plantear estrategias de reducción de las emisiones de GEI de sus procesos, lo que contribuirá con la mitigación del cambio climático.

Objetivo general

- Evaluar la huella de carbono en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.

Objetivos específicos

- Cuantificar el carbono aéreo almacenado en los árboles y cafetales en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”.
- Calcular las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) totales generadas en el manejo y procesamiento del grano del café en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”
- Determinar la huella de carbono en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de investigación

2.2.1. Internacional

Pinoargote (2014) determinó el almacenamiento de carbono en 4 diferentes tipos de cafetales ubicados en la zona centro norte de Nicaragua, obtuvo un promedio de almacenamiento de 26,5 tnC/ha, en una densidad media de 5 607 plantas de café y 465 árboles/ha, la mayor cantidad de carbono almacenado fue en los sistemas de alta densidad y diversidad de árboles (35,3 tnC/ha), en contraste con, el sistema de café a pleno sol que fue de 7,8 tnC/ha. La fijación de carbono por parte de las plantas de café osciló entre 3,4 hasta 7,8 tnC/ha y de los árboles fue desde 10,2 hasta 29,3 tnC/ha, concluye afirmando que los sistemas agroforestales más diversos y con mayor densidad logran una sinergia entre un mayor almacenamiento de carbono y provisión de productos agroforestales, dicha conclusión mantiene semejanza con el estudio de Riascos (2020) quien estimó el carbono almacenado en la biomasa aérea y bajo el suelo en 4 sistemas productivos de café en tres rangos altitudinales, ubicados en el Municipio de Consacá, Colombia, el valor más alto fue del sistema de café asociado con carbonero 10,7 tnC/ha (69 árboles/ha), seguido fue el sistema de café con sombrío de limón con 8,03 tnC/ha (156 árboles/ha), asimismo, el autor reportó que la mayor cantidad de carbono almacenado estuvo en altitudes mayores a 1 800 msnm, a causa de las condiciones climáticas, la densidad del suelo, y al mayor contenido de materia orgánica, en cambio, el sistema de café sin sombra presentó el menor valor 6,64 tnC/ha, la diferencia se atribuye a la influencia de la densidad y especies de los árboles de sombra.

Rahn *et al.* (2013) evaluaron el potencial de los cambios en las prácticas de producción y procesamiento de café a fin de reducir las emisiones de GEI, para ello, determinó mediante el software Cool Farm Tool, los balances de GEI en las fincas de café de pequeños productores orgánicos ubicados en la región centro de Nicaragua, el límite del sistema fue desde el cultivo hasta el transporte al puerto de exportación. Obtuvo como resultado en el almacenamiento de carbono del sistema de policultivo comercial 16 tnC/ha y el sistema de policultivo tradicional en donde se caracteriza por poseer una diversidad de árboles nativos e introducidos de una altura de dosel de 20 a 30 metros fue de 41 tnC/ha, mientras que, de las emisiones fue 5,81 kgCO₂/kg café pergamino, de las cuales, tuvo una mayor contribución la producción de compost (38%) con 2,2 kgCO₂/kg café, seguido fue el proceso de despulpado y

fermentación (30%) con 1,76 kgCO₂/kg café, el consumo de energía significó una mínima emisión con 0,03 kgCO₂/kg café, por tanto, las actividades que mostraron sinergia entre la mitigación y adaptación son; la forestación de área degradadas con SAF-café, instalación de árboles en los límites del área, y el cambio del tratamiento de los residuos con biodigestores, el autor sugiere que podría reducir en un 13,38% las emisiones

Segura y Andrade (2012) estudiaron el impacto de la producción de café con diferentes estándares de certificación sobre la huella de carbono en Costa Rica, obteniendo, una tasa de fijación entre 5,9 hasta 13,9 tnCO₂/ha/año mencionando que el 87 % de la fijación fue por la vegetación arbórea (desde 4,2 hasta 11,8 tnCO₂/ha/año) y el restante por las plantas de café (desde 0,2 hasta 2,1 tnCO₂/ha/año), con respecto a las emisiones obtuvo una emisión total en el rango de 0,99 hasta 1,27 kgCO₂/kg café verde, de las cuales, las emisiones de GEI a efecto del manejo de la plantación de café osciló desde 0,66 hasta 0,84 kgCO₂/kg café verde a excepción del resultado obtenido con el estándar de certificación de producción orgánica en donde reportó un mayor valor de 22 kgCO₂e/kg café verde, ello debido a la alta aplicación de fertilizantes orgánicos (102 tn/ha/año) y el mayor uso de combustibles debido al transporte al cultivo, las emisiones en el procesamiento del grano de café fue desde 0.18 hasta 0.43 kgCO₂e/kg café verde. Finalmente obtuvo una huella de carbono neta para el café oro verde entre 2.4 hasta 13.0 kgCO₂e/kg café. El autor concluye que, no existe impacto del estándar de certificación en la huella de carbono, pero si existe diferencia en la fijación de carbono en donde el estándar de café orgánico obtuvo un mayor valor.

Hernández *et al.* (2018) determinaron la huella de carbono para 505 productores cafetaleros en Colombia mediante la herramienta normativa NTC 5947, determinó una remoción desde 10,56 hasta 15,44 kg CO₂e/k c.p.s y una emisión de GEI desde 1.05 hasta 3.15 kgCO₂ e/kg café pergamino seco, del resultado reportado menciona que el 84% es contribuido por la fertilización nitrogenada

Hergoualch *et al.* (2012) determinaron el efecto de las prácticas agroforestales sobre las reservas de Carbono y emisiones de GEI en dos parcelas ubicada en Costa Rica, registró las emisiones de N₂O y absorción de CH₄ del suelo durante 1 año mediante una cámara estática, obtuvo que un 84% de las emisiones de N₂O del suelo se dieron después de la fertilización, además demostró que convertir un monocultivo de café a un SAF con una especie fijadora de Nitrógeno contribuye en la mitigación del cambio climático.

Albornoz (2017) determinó la huella de carbono del café en Honduras para el año 2016-2017 mediante la metodología del PAS 2050 como límite del sistema abarco desde el cultivo de café hasta el puerto internacional de Honduras (cuna a la puerta) obtuvo una emisión de 3,42 kgCO₂ /kg café oro de las cuales la emisión más significativa fue de 51% correspondiente a la etapa de cultivo (1,52 kg CO₂/kg café oro), 32% al procesamiento y 17% a la distribución.

Rikxoort *et al.* (2014) evaluaron la influencia de 4 diferentes sistemas de producción en la huella de carbono, para ello, colectó datos de 115 fincas ubicadas en 5 países (entre ellas México y Nicaragua), determinó la fijación de carbono mediante ecuaciones alométricas, obtuvo un mayor valor en el sistema de policultivo tradicional con 42,5 tnC/ha, policultivo comercial (30,2 tnC/ha), monocultivo sombreado (14,3 tnC/ha) y el monocultivo sin sombra (10,5 tnC/ha), con respecto a la estimación de la huella de carbono se realizó mediante la herramienta de Cool Farm Tool, obtuvo un promedio de los 4 sistemas productivos un valor de 8,3 kgCO₂/kg café pergamino seco, la principal fuente de emisión fue el proceso de fermentación y agua residuales (57%), los sistemas de policultivos tuvieron los valores más bajos de huella de carbono con respecto a los monocultivos, por tanto, los sistemas de producción sí influyen en la contribución del cambio climático de diversas maneras como; manejo del cultivo, procesamiento del café y en el almacenamiento de carbono, por ejemplo el policultivo tradicional presentó el mayor almacenamiento.

Nab & Maslin (2020) estudiaron el análisis de ciclo de vida de la huella de carbono del café producido por Brasil y Vietnam que son exportados a Reino Unido el cálculo se realizó mediante la metodología de PAS 2050 combinado con el IPCC, obtuvieron como resultado una huella de carbono promedio para ambos países de café convencional y café sostenible de 15,33 y 3,64 kgCO₂e/kg de café verde respectivamente, la diferencia se debe a las emisiones por exportación de granos de café a través de buques de carga y al uso de insumos agroquímicos

Novita & Edrin (2022) estudiaron el impacto ambiental generado en cada proceso del ciclo de vida del café orgánico producido en el distrito de Sukorambi ubicado en Tailandia, el estudio tuvo como finalidad identificar acciones que permitan reducir dicho impacto, obtuvo como resultado un valor de 18,05 kgCO₂e/15 kg café molido, el autor menciona que si se implementa un manejo anaeróbico de las aguas residuales y un cambio del uso de gas GLP a biogás la emisión reduciría 6,35 kgCO₂ e/15 kg café molido

Gosalvitr *et al.* (2023) estudiaron los impactos ambientales y costos del ciclo de vida de la producción del café molido e instantáneo en Reino Unido, y fue realizado mediante la metodología del ISO 14040/44 e ISO 15686, cabe señalar que, el cultivo de café es importado de países como Brasil, Vietnam, Colombia, Honduras entre otros y son procesados en Reino Unido, el resultado obtuvo un impacto de 7-7,9 tnCO₂/tn café molido, el principal contribuyente fue el cambio de uso de suelo en un 56%, seguido por un 27% fue la aplicación de fertilizantes, el resultado sugiere que, el café molido es ambientalmente y económicamente más sustentable que el café instantáneo ya que evidenció que dicho café tiene un impacto de 2 a 3 veces más que el café molido, debido a que requiere menos granos y energía para producir la misma cantidad.

Pramulya *et al.* (2023) describieron el ciclo del CO₂ en la agroforestería y la agroindustria del café que fue realizado en la provincia de Aceh en Indonesia para ello recopilaron datos de 41 agricultores, obtuvo una huella de carbono total del café oro verde de 1,62 tnC/ha/año de las cuales 2,03, 0,031 y 3,53 tnCO₂/ha correspondieron a la emisión, reducción y secuestro de carbono respectivamente, el ciclo de carbono impacta de manera positiva en la sostenibilidad de agroforestería y agroindustria del café ya que el autor evidencio en sus resultado una huella de carbono positiva, es decir, hay una mayor secuestro de carbono que de las emisiones provenientes de agroforestería y agroindustria del café.

2.2.2. Nacional

Los resultados de los estudios realizados con respecto al almacenamiento de carbono en fincas de café, presentaron variaciones a causa de la densidad y especie forestal principalmente de los árboles, así lo demuestra Odar (2018) quien determinó el almacenamiento de carbono en dos sistemas agroforestales de café en el Distrito de Colcamar ubicado en el departamento de Amazonas, obtuvo un valor promedio de 16,3 tnC/ha para el sistema de café – guaba y para el sistema café-guaba-pashaco fue de 26,9 tnC/ha, esta diferencia es a causa de la densidad de las plantaciones de café y árboles de sombra, cabe señalar que, los árboles almacenaron desde 7 hasta 25,6 tnC/ha, en una densidad media de 294 árboles/ha, mientras que, las plantas de café desde 2,5 hasta 10,7 tnC/ha en una densidad promedio de 5 917 plantas de café/ha respecto a sus variables dasométricas presentó un diámetro promedio de 9 cm y altura promedio de 1,63 m, resultados semejantes obtuvo Gonzales (2018) quien evaluó el carbono almacenado en un SAF de café de 4 y 7 años, evaluó la biomasa arbórea, arbustiva, hojarasca, herbácea y de raíces en relación a diferentes altitudes en la provincia de Dos de Mayo, Región

Huánuco, obtuvo un menor valor de almacenamiento de carbono de la biomasa aérea de café que fue 11,78 tnC/ha a 1 000 msnm y un máximo valor de 32,92 tnC/ha a 1 400 msnm, a esa misma altitud reporto un valor de 16,23 tnC/ha de café de 7 años, el autor concluye que la cantidad de carbono presenta ligeras variaciones en relación a la gradiente altitudinal, asimismo, Isminio (2006) estimó el almacenamiento de carbono en un cultivo de café de diferentes edades asociado con guaba, ubicado en el caserío de Chirapa, San Martín, de las cuales obtuvo que las plantas de *Coffea arabica* de 3, 4, 5 y 6 años fijaron valores de 1,3 tnC/ha, 1,3 tnC/ha, 2,4 tnC/ha y 1,7 tnC/ha respectivamente, mientras que los árboles fijaron 4,2 tnC/ha, 6,1 tnC/ha, 10,3 tnC/ha y 12,8 tnC/ha.

Sin embargo, los siguientes autores reportaron un mayor valor como Ehrenbergerová *et al.* (2016) quienes estimaron el stock de carbono en tres diferentes sistemas agroforestales de café en Villa Rica, Perú, obteniendo un mayor valor en el cafetal asociado con *Pinus sp* que fue de 60,3 tnC/ha en una densidad de 124 árboles/ha, seguido fue el sistema de café asociado con *Eucalyptus sp* que fue 52,7 tnC/ha con 472 árboles/ha y el café asociado con *Inga sp* fue de 29,1 tnC/ha con una densidad de 176 árboles/ha, la cantidad de carbono almacenado depende de la especie de árbol con la que se encuentra asociada el cafetal. Hurtado (2019) determinó el carbono almacenado en la biomasa aérea del sistema agroforestal de *Coffea arabica* y *Eucalyptus saligna* en la localidad de Naranjillo, Región San Martín, obtuvo un resultado que osciló desde 190.95 tnC/ha hasta 191.48 tnC/ha, la densidad promedio de las plantas de café fue de 4 200 plantas/ha, sus rangos de DAP variaron desde 6,7 cm hasta 9 cm, mientras que, los árboles de eucalipto tuvieron un rango de DAP entre 27,6 cm hasta 30 cm con una densidad de 600 árboles/ha.

Con respecto a los estudios de la huella de carbono del café, el MINAGRI (2016) publicó la primera estimación de línea de base de emisiones de GEI del sector café analizados desde el año 2005 hasta el 2014, como resultado presenta una emisión promedio de 20 a 21 kgCO₂e/kg de café pergamino, los componentes que más contribuyeron a la emisión fue generado por el USCUS.

Zaldaña (2019) determinó las emisiones de GEI del café pergamino seco en un sistema agroforestal de café ubicado en Rodríguez de Mendoza, Chachapoyas, mediante la herramienta Cool Farm Tool, obtuvo una fijación de 1,1 tnCO₂/ha en un cultivo sin sombra y un valor más elevado obtuvo en un sistema de cultivo con sombra que fue de 3,4 tnCO₂/ha, de las cuales, la tasa de fijación anual en las plantas de café fue de 0,9 hasta 1,2 tnCO₂/ha, mientras que, de los árboles fue desde 2,2 hasta 2,4 tnCO₂/ha, con respecto a las emisiones de GEI, el

sistema de cultivo sin sombra obtuvo los valores más altos con 16,5 tnCO₂/ha, mientras que, el sistema de cultivo con sombra y fertilización orgánica fue solo de 9 tnCO₂/ha, los procesos que contribuyeron en mayor medida a las emisiones fueron la gestión de residuos (46%), cambio de uso de suelo (30%) y las aguas residuales (15%) la diferencia de las emisiones se debe al uso de los fertilizantes nitrogenados, entre otros.

Neira (2020) estimó las emisiones y captura de GEI en el proceso de producción y post producción de café en el Distrito la Coipa – Cajamarca en la asociación de productores agropecuarios quienes tienen certificación orgánica y de comercio justo, el cálculo de la fijación de carbono en la biomasa aérea fue realizado mediante ecuaciones alométricas y las emisiones con la herramienta Cool Farm Tool, en los resultados obtuvo una huella neta de 22,58 kg CO₂/kg de café pergamino seco de las cuales hubo una emisión total de 32,35 kg de CO₂/kg de café y una fijación de carbono de 10,27 kg de CO₂/kg de café, la fuente que contribuyó más en las emisiones fue la fertilización nitrogenada con un promedio de 29,49 kg de CO₂/kg de café.

2.2.3. Local

El estudio de la huella de carbono en la provincia de Oxapampa solo se ha desarrollado con el enfoque a nivel de organización, mientras que, con el enfoque de producto no se ha registrado estudios en la Provincia, a nivel de organización los autores Calle y Guzmán (2001) obtuvieron un resultado de la huella de carbono de 0,41 kg CO₂/huésped/noche el estudio fue desarrollado en el Ecolodge Ulcumano.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), define al cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”. El calentamiento global es inequívoco, según las evidencias científicas está confirmado con un 95% de confiabilidad que el aumento en la atmósfera de GEI son generados por la actividad antrópica teniendo como principal determinante el aumento de las emisiones de GEI, que en estos últimos decenios se ha registrado como las más altas de la historia desde la era preindustrial IPCC (2014). En la actualidad, hay evidencias que el cambio climático está afectando negativamente a diferentes continentes; el incremento de la temperatura, la

disminución de la disponibilidad de agua y el aumento de la frecuencia de los desastres climáticos son los impactos más importantes Frohmann *et al.* (2013). En el informe del IPCC (2019) menciona que el calentamiento global causado por las actividades antrópicas es aproximadamente de 1,0 °C en comparación con los niveles preindustriales, y se pronostica que al ritmo actual llegue a un aumento de 1.5 °C entre el 2030 y 2052.

Las investigaciones del informe de la IPCC (2019) mencionan que, si la emisión de GEI, continúa ocasionará un mayor calentamiento, cambios duraderos, por lo que habrá una mayor frecuencia de impactos graves e irreversibles en el ecosistema y para el ser humano Granados *et al.* (2014) afirman que la vulnerabilidad es alta para Latinoamérica, por esta razón, afectara con un grave impacto en la agricultura, la seguridad alimentaria, el suministro de agua, la calidad de vida y de los ecosistemas (Frohmann y Mulder, 2012).

El impacto del cambio climático en los cultivos varía según el producto, los cultivos de café, cacao, arroz y azúcar de caña pueden verse gravemente afectados por la escasez de agua (Frohmann y Mulder, 2012). Algunos estudios analizaron la vulnerabilidad del cultivo de café ante el cambio climático, y se estimó que para el año 2050 las fincas cafetaleras de Nicaragua, México, el Salvador y Guatemala perderían su producción entre un 20 y 81%, Camargo (2010) señala que uno de los factores determinantes del rendimiento del grano de café en Brasil es la variabilidad climática, además Granados *et al.* (2014) manifiestan que el cambio climático tendrá repercusiones en el desarrollo fenológico, presencia de enfermedades y plagas y, por ende en la producción.

2.2.2. Efecto invernadero

Es un proceso natural que influye en el aumento de las temperaturas globales promedio, como consecuencia del incremento de los GEI presentes en la atmósfera (Useros, 2013). Los GEI son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera de origen natural y antrópicos, que absorben y reemiten radiación infrarroja, se componen principalmente por el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC), Hexafluoruro de azufre (SF₆). Los GEI moderan la entrada de luz solar y reducen la salida de energía a la atmósfera, ocasionando una acumulación en la superficie terrestre e influyendo directamente en la temperatura global y el nivel medio del mar. Los GEI mantienen que la temperatura sea habitable, manteniéndola en un promedio de 30 °C (Naciones Unidas, 1992).

El CO₂ es el GEI con mayor efecto en el calentamiento atmosférico. Entre 1960 y 2011 las emisiones globales aumentaron 2.6% anual, casi cuadruplicándose desde 9 400 millones de toneladas a 34 000 millones de toneladas, debido al mayor uso de combustibles, el cambio de uso de la tierra y otros factores. Entre 1983 y 2012, las emisiones en América Latina estuvieron altamente concentradas en las economías más grandes como: México, la República Bolivariana de Venezuela y Argentina que representaron otro tercio de las emisiones (Frohmann *et al.*, 2012).

2.2.3. Potencial de calentamiento global (PCG)

Es el factor que describe el impacto de la fuerza de radiación de una unidad con base en la masa de un GEI determinado, con relación a la unidad equivalente de dióxido de carbono en un periodo determinado ISO (14064), el PCG depende de la intensidad de absorción de radiación infrarroja, el espectro de absorción de las diferentes longitudes de onda y tiempo de vida en la atmósfera (Álvarez *et al.*, 2022).

2.2.4. Fuente de emisiones de Gases de Efecto Invernadero

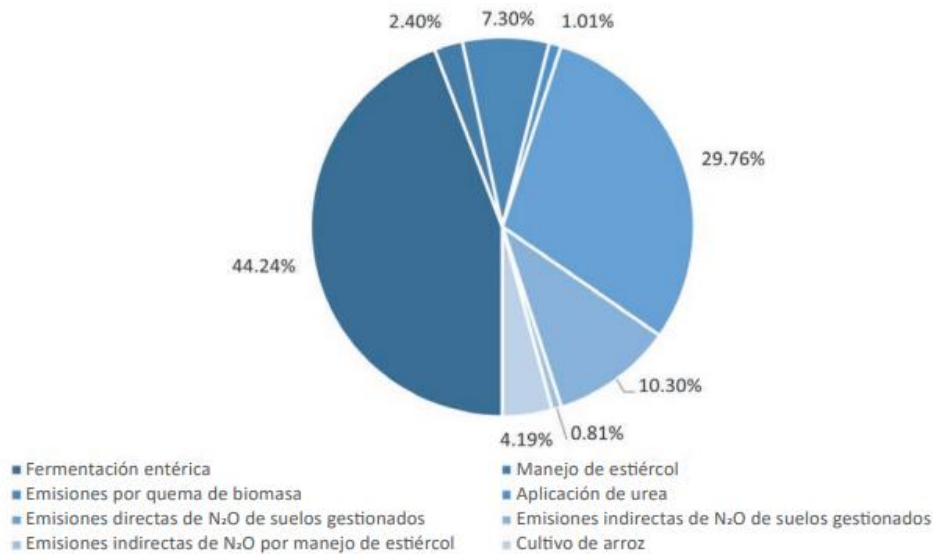
Según el informe técnico del IPCC (2014) afirma que hubo un incremento de las emisiones antropogénicas con respecto a la era preindustrial debido al crecimiento económico y demográfico. Las emisiones en 2010 fueron de $49 \pm 4,5$ GtCO₂-eq/año. Entre 1970 y 2010 las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles y la producción industrial contribuyeron en un 78% del aumento de las emisiones de GEI. Entre el 2000 y 2010 las emisiones antropogénicas totales de GEI aumentaron alrededor de 10 GtCO₂ – eq provenientes de los sectores de energía (47%) industria (30%), transporte (11%) y edificios (3%).

Las actividades agrícolas representan el 14% de las emisiones globales de GEI (Figura 1), el metano y el óxido nitroso son generadas en la fermentación entérica, producción bajo inundación y fertilización con nitrógeno (IPPC, 2014), siendo el óxido nitroso el principal GEI generado por las actividades agrícolas (Bretscher, 2005, citado por Ceballos y Ocaña, 2014). Las más importantes fuentes de emisiones de GEI en el sector agrícola son: la aplicación de fertilizantes y productos químicos, crianza de ganado vacuno (cuya fermentación entérica emite metano) y el uso de maquinaria.

2.2.5. Emisiones de GEI en el Perú

Según el reporte del MINAM (2016) presentó que las emisiones netas del país fue 205 294,17 GgCO₂eq, de las cuales el sector de Agricultura Silvicultura y Otros Usos de la

Tierra (ASOUT) representa con un 65.7% la principal fuente de emisión de GEI, seguido se encuentra el sector de energía con 28,32%. Asimismo, dentro de dicho sector se encuentra la subcategoría de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS) que contribuyó en un 53,09% y la subcategoría de agricultura con 12,62% (Figura 1) en dicha subcategoría la fermentación entérica y las emisiones directas de óxido de nitrógeno de suelos manejados con 29,76% (MINAM, 2016).

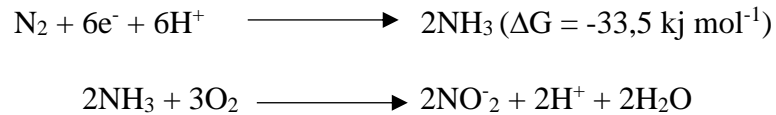


Fuente: (MINAM, 2016).

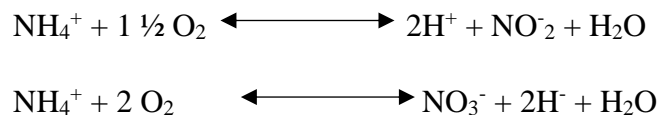
Figura 1. Emisiones de GEI en la subcategoría agricultura 2016.

2.2.6. Emisiones de GEI por la aplicación de fertilizantes

Las emisiones de óxido nitroso se producen de forma directa con la incorporación de fertilizantes e indirectamente en el proceso de volatilización como NH₃ y NO_x y posterior deposición y mediante lixiviación y escorrentía (IPCC, 2016). El Nitrógeno es el segundo elemento de mayor presencia en las células (Castillo *et al.*, 2005), ello debido a que es un componente esencial de las estructuras vivas (proteínas, el ADN, ARN, las hormonas, las enzimas y las vitaminas) está presente en forma orgánica e inorgánica y en muchos estados de oxidación. En Nitrógeno gaseoso N₂ es una forma no reactiva, que solo puede ser asimilada a través de los microorganismos, las plantas lo asimilan con mayor disponibilidad en amonio NH₄⁺ y nitrato NO₃⁻ (Rodríguez *et al.*, 2019). El ciclo inicia con el gas N₂ atmosférico, los rayos pueden convertirlo en varios óxidos y finalmente en nitrato NO₃⁻ que pueden ser absorbidos por las plantas en crecimiento, también el N₂ puede ser convertido en amoniaco por fijación de los microorganismos, el amoniaco participará en una serie de reacciones bioquímicas en las plantas (Van y Pascal, 2005)



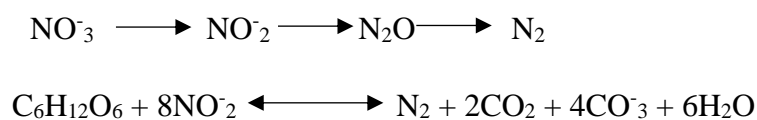
Por otro lado, en la materia orgánica del suelo se encuentra la mayor parte de nitrógeno, sin embargo, solo el 2% de este nitrógeno está disponible para las plantas, el N de la materia orgánica se mineraliza por medio de dos procesos microbianos, en el primero las proteínas se descomponen en aminoácido (amenización), en el segundo proceso llamado amonificación los compuestos aminados se transforman en amoniaco NH_3 y amonio NH_4 . Los dos procesos se conocen como mineralización, dicho amonio, puede ser usado por las plantas para producir proteínas, en caso del exceso es oxidado por bacterias nitrificantes del grupo nitrosomas y lo convierten a nitrito (Cáceres, 2019).



Al aplicar un fertilizante amoniacal o ureico sobre el cultivo como por ejemplo la urea se incrementa las emisiones de N_2O esto por el aporte exclusivo de nitrato, y a su vez se da un proceso de volatilización en forma de amoniaco NH_3 . Los nitritos son oxidados a nitratos por bacterias del grupo nitrobacter, proceso conocido como nitrificación (Cáceres, 2019). En el suelo la tasa de nitrificación va depender de la temperatura, humedad, pH, la nitrificación se detiene cuando el valor del pH se encuentra debajo de 4.5 o se incrementa por encima de 9.

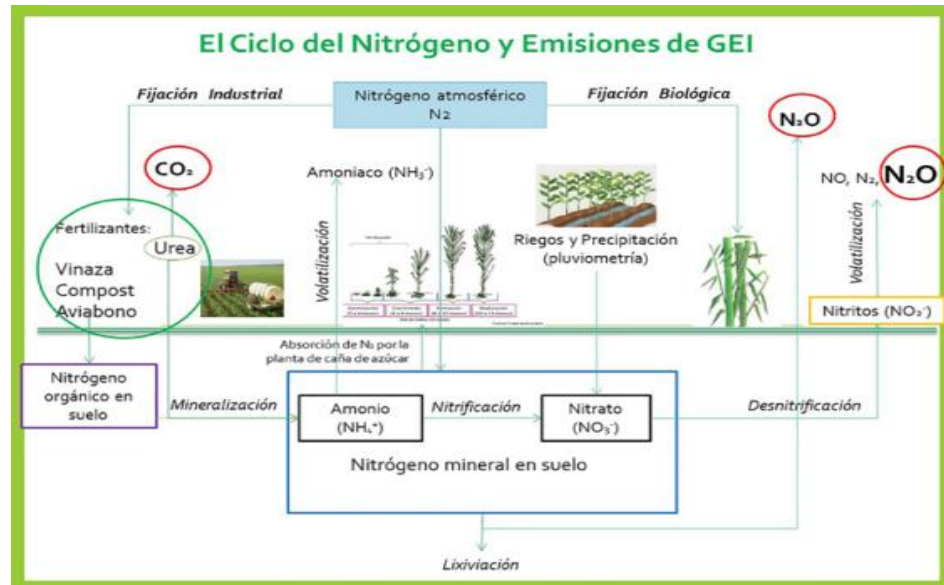


Dichos nitratos pueden ser absorbidos como fertilizantes para las plantas, y el exceso es llevado por el agua a través de la percolación en los suelos. Bajo condiciones anaeróbicas los nitritos y nitratos son reducidos a N_2 por el proceso de desnitrificación en este proceso ocurre una pérdida de NO , N_2 y N_2O . La desnitrificación está controlada principalmente por tres factores (oxígeno, nitrato y carbono) que están controlados por varios factores físicos y biológicos (Van y Pascal, 2005). Los organismos que realizan la desnitrificación son las bacterias de los grupos de la *Alcaligenes*, *Bacillus* y *Pesudomonas* abundantes en el suelo.



Un bajo pH en los suelos tiene como efecto una mayor eficiencia en el proceso de adsorción del ión amonio con respecto a los de pH elevado. La intensificación de la agricultura y ganadería ha hecho que haya más N disponible en el ciclo del N del suelo, aumentando así la emisión de óxidos de N (Van y Pascal, 2005) de la misma manera lo afirma Jorquera (2018) quien menciona que las emisiones de amoníaco proceden en mayor medida de la aplicación de fertilizantes en la agricultura y de la crianza de animales. El NH_3 es un gas volátil que se dispersa a la atmosfera, la pérdida de N del suelo por volatilización de NH_3 se debe a varios factores una de ella es la aplicación superficial de urea, entre otros fertilizantes que contienen amonio. La urea es el fertilizante nitrogenado más importantes ya que puede provocar una pérdida importante de NH_3 tras la hidrólisis y el consiguiente aumento de pH. La transformación de NH_4^+ a la forma volátil NH_3 aumenta con el aumento del pH, la temperatura, la porosidad del suelo y la velocidad del viento en la superficie del suelo. Disminuye con el aumento del contenido de agua y las precipitaciones posteriores a la aplicación. En general, el amoníaco tiene una vida útil corta y puede depositarse poco tiempo después de la emisión. Esto conduce a la acidificación del suelo tras la nitrificación, dependiendo de la capacidad amortiguadora del suelo. Probablemente alrededor del 0,5% del fertilizante N aplicado se emite como NO y el 1,25% como N_2O (Van y Pascal, 2005).

La urea puede disolverse y aplicarse en el agua de riego, cuando la urea entra en contacto con las plantas o el suelo, la ureasa se convierte en NH_3 , paralelo a ello, el N es susceptible a pérdidas gaseosas por volatilización como NH_3 . La dosis, forma de aplicación y momento de la aplicación son factores que determinan la eficiencia de absorción, si se suministra el fertilizante durante la máxima demanda de nitrógeno de la planta, se puede disminuir la inmovilización y las pérdidas del sistema suelo-planta, por ello, se puede aumentar la eficiencia en el uso de nitrógeno. Una estrategia eficiente puede ser el uso de fertilizantes de liberación lenta (NBPT), cabe señalar que, actualmente la industria está desarrollando un tipo especial de urea con la finalidad de evitar y reducir las pérdidas de N (Morales *et al.*, 2019).



Fuente: López *et al.*, (2018).

Figura 2. Ciclo de nitrógeno y las emisiones de GEI provenientes de los suelos agrícolas.

2.2.7. Emisiones de GEI en el proceso de compostaje

Los responsables de la degradación de la materia orgánica en el proceso de compostaje son los microorganismos quienes oxidan la fracción orgánica, el CO_2 biogénico es el gas generado en mayor medida durante el proceso, sin embargo, este valor no se toma en cuenta en el inventario de GEI por ser de origen biológico (IPCC, 2006), la emisión del CH_4 puede suceder en el interior de las pilas de compostaje, en el inicio de la fase termófila, esto debido a que en este periodo, hay grandes cantidades de nutrientes lo que estimula el crecimiento microbiano y reduce los niveles de oxígeno generando condiciones anaeróbicas, entonces el proceso de degradación de la materia orgánica implica hidrólisis y fermentación de las moléculas orgánicas complejas a compuestos más sencillos. Los factores más importantes que determinan las emisiones de metano son material inicial, humedad, frecuencia del volteo, altura y forma de la pila (Serramia, 2013), ello también queda evidenciado por Aguilar (2020) quien afirma que el compostaje aerobio ya sea sin agregar un fermento, al ser un proceso de degradación por los microorganismos, este generará emisiones de CH_4 , N_2O y CO_2 , sin embargo, estas podrían variar a razón de factores como composición inicial del material, temperatura de la pila, pH y humedad, en ese contexto se resalta la importancia de una gestión óptima de los residuos.

2.2.8. Emisiones de GEI en la eliminación de las aguas residuales

La emisión de metano (CH_4) se da por a causa de la degradación anaeróbica de la materia orgánica degradable presente en el agua residual y la temperatura, por ejemplo, a una temperatura menor a 15°C , los metanógenos no estarán activos, mientras que cuando sobrepasan de este rango es más probable que se dé la generación de CH_4 . Para medir la cantidad de materia orgánica degradable presente, se realiza mediante los parámetros de DBO (Demanda bioquímica de oxígeno), que indica la cantidad de carbono biodegradable en condiciones aeróbicas, DQO (demanda química de oxígeno), mide la materia disponible para oxidación química, las aguas residuales con mayor DQO o DBO generan más CH_4 . El DBO es utilizado para el caso de aguas residuales domésticas, en cambio, el DQO se aplica para aguas residuales industriales (IPCC, 2006).

2.2.9. Almacenamiento y fijación de carbono en sistemas agroforestales

La agroforestería son reservorios de carbono, cuya capacidad de almacenar los flujos captados desde la atmósfera se ubican tanto en la biomasa aérea como en la biomasa radicular; por lo tanto, la valoración del carbono fijado debería hacerse con base en la biomasa, tanto sobre el suelo, como debajo del suelo (Cabrera *et al.*, 2005), cabe mencionar que Andrade *et al.*, (2014) aclaran que una mayor tasa de fijación se da en los sistemas donde se incluye árboles, los cuales retienen el carbono en su biomasa por un prolongado tiempo, además los autores Segura y Andrade (2012) afirman que, existe una influencia de la fijación de carbono con las variables como: la densidad, especie, el tamaño, tasa de crecimiento, edad de la madera, Pinoargote (2014) menciona que los cafetales diversificados y de manejo agroecológico permite mitigar y aumenta su la resiliencia ante el cambio climático.

2.2.10. Fincas cafetaleras en el Perú

El Perú es el noveno país exportador de café del mundo, en donde una gran parte de la producción se debe a pequeños productores. Su importancia radica ya que de él depende gran parte de la población para su sustento económico, especialmente en el sector rural amazónico (Solidaridad, 2016), para el año 2023 el SEIA presentó en su geoportal que 223 738 familias cosecharon el cultivo de café en una extensión de 213 214,1 ha, siendo el segundo cultivo con mayor extensión en el Perú, en la región de Pasco registró a 4 104 productores de café.

El 85% del total de caficultores corresponde a pequeños productores quienes manejan entre 1 ha a 5 ha, quienes manejan sus fincas con un insuficiente nivel tecnológico, un 20% se encuentra asociado a cooperativas quienes dan mayor importancia a la certificación orgánica (PNUD, 2017). La tipología estructural del cafetal varía en función del porcentaje de sombra.

Una adecuada aplicación de buenas prácticas ambientales en el cultivo de café contribuye de manera significativa a la sostenibilidad, evitando así la deforestación y reducción de las emisiones generadas durante el cultivo y procesamiento del café, ya que esta cadena de valor representa un potencial de contribución a la mitigación y adaptación al cambio climático (Solidaridad, 2016).

2.2.11. Procesos del manejo del café

En el manejo del cultivo de café se utiliza fertilizantes químicos, orgánicos y pesticidas, las cuales contribuyen a las emisiones de GEI, además a la contaminación del agua las agua superficiales y subterráneas (PNUD, 2017).

2.2.12. Procesos del beneficiado húmedo y seco del café

El proceso de conversión del café consiste en transformar el café cerezo en pergamino u oro verde, para ello se sigue los siguientes procesos.

En el proceso de beneficio húmedo de café del café cerezo solo un 18% termina como a café oro, lo restante corresponde a residuos que si no son manejados de una manera adecuada son posibles contaminantes del medio ambiente (Castillo, 2012).

El proceso inicia con el despulpado, donde el cerezo maduro es pasado por una máquina que retira la cáscara y la pulpa, cabe señalar que, el manejo es separado para los granos de tamaño normal, ligeros y pequeños, en caso de la presencia de los granos verdes no se despulpan, seguidamente los granos despulpados salen del separador, y es lavado antes de que ingresen a los tanques de fermentación (Castillo, 2012). En los tanques de fermentación se elimina la pulpa adherida a los granos el proceso se da entre 18 a 24 horas, en algunos casos puede ser hasta 80 horas en donde la temperatura del aire es baja a una mayor altitud, a continuación, el grano del café es lavado y escurrido.

Después los granos del café son extendidos de manera uniforme para ser secado a sol o de manera mecánica en un promedio de 8 días o hasta que se encuentre en un 12% de

humedad, una vez seco el grano es pasado por una máquina que realiza el trillado o descascarado de la cubierta del grano.

Durante el proceso del beneficio húmedo la generación de las emisiones se da en dos áreas: en el proceso del despulpado por acción del equipo y en el secado solo en caso de que se realice de manera mecánica en donde se hace el uso de combustibles para el calentamiento del aire (Castillo, 2012).

2.2.13. Huella de carbono

Es el conjunto de emisiones y absorciones de GEI (CO₂, CH₄, N₂O) que son producidos por efecto directo e indirecto como consecuencia de una actividad (Álvarez *et al.*, 2022), cabe resaltar que, la huella de carbono de los productos tiene una mayor importancia en Latinoamérica, ya que es el principal exportador de productos agrícolas (CEPAL, 2004).

2.2.14. Alcances de la huella de carbono

Se define a las emisiones de alcance 1 o directa, a las que se encuentran asociadas a fuentes que están bajo el control de una organización como (maquinaria, vehículos, hornos, etc.), mientras que, las emisiones de alcance 2 (indirectas) corresponde al consumo de energía y las emisiones de alcance 3 (indirecta) se refiere a las emisiones de las actividades de la empresa, que sucede en fuentes en las que la empresa no puede controlar o no son de su propiedad (Álvarez *et al.*, 2022).

2.2.15. Metodología del cálculo de la huella de carbono

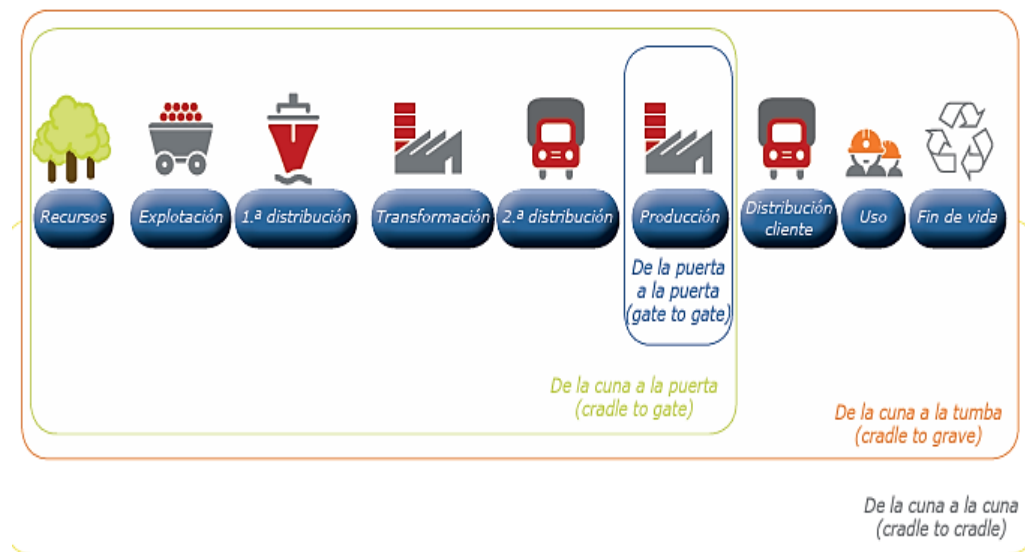
El estudio se realiza de acuerdo a dos enfoques metodológicos que son: el enfoque a organización y enfoque a producto, de las cuales cada uno cuenta con sus protocolos y metodologías.

2.2.16. Huella de carbono de una organización

De acuerdo a lo definido por la norma UNE- ISO 14064, la huella de carbono de una organización es el conjunto de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero que son producidas por efecto directo e indirecto como consecuencia del desarrollo de todas las actividades de una organización.

2.2.17. Huella de carbono de un producto (HCP)

Es la suma de las emisiones y remociones de GEI en un sistema de producto, expresadas como CO₂ equivalente y basadas en una evaluación del ciclo de vida de la categoría de impacto de cambio climático, la norma considera al producto a cualquier bien o servicio, por tanto, la HCP es válido para servicios y eventos. El límite del sistema dependerá de aspectos como definición del objetivo, la unidad funcional, calidad de datos, entre ellas destaca los límites de la “cuna a la puerta” y de “la puerta a la puerta” en este caso el CO₂ equivalente se determinará en base a las etapas o procesos seleccionados dentro del ISO 14067 (2018).



Fuente: Conceptos básicos de la huella de carbono (Álvarez, 2022).

Figura 3. Límites del sistema.

2.2.18. Organización Internacional de Normalización (ISO)

Los ISO han desarrollado estándares relacionados con la determinación de las emisiones de GEI. Los estándares desarrollados en función del cálculo de la huella de carbono son: La norma ISO 14064:2018 establece los criterios, requisitos y especificaciones para la elaboración de los informes de emisiones y remociones a nivel de organización, mientras que, la norma ISO 14067 está enfocado a la huella de carbono a nivel de producto, tiene como antecedente el PAS 2050. Su verificación permite demostrar su compromiso ambiental, diferenciándose así respecto a la competencia (CEPAL, 2004).

2.2.19. GHG Protocol “estándar corporativo de contabilidad y reporte

En el año 2001 se publicó el primer estándar “Protocolo de GEI: Estándar corporativo de contabilidad y reporte – GHG Protocol” con la visión de mejorar la uantificación

de los alcances, este estándar se diferencia por orientar tanto a la cuantificación como a la comunicación (Mateos y Álvarez, 2022), asimismo, implementó herramientas y softwares para el desarrollo de la huella de carbono para empresas y productos (CEPAL, 2004).

2.2.20. PAS 2050

La metodología está direccionado a la determinación de la huella de carbono de productos y servicios, además presenta una guía metodológica donde detalla los criterios y descripción de los pasos para su cálculo, asimismo, dicha metodología tiene como referencia las normativas del ISO y del GHG Protocol (CEPAL, 2004).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El estudio se desarrolló en la Finca “San Alberto” que tiene como superficie de 4,36 ha, en donde se desarrolla principalmente un sistema agroforestal de café de diversas variedades como Catimor, Típica, Costa rica 95, Caturra, Geisha, Bourbon amarillo y rojo que se encuentra asociado principalmente con los árboles de *Pinus tecunumanni*, *Pinus oocarpa* y cultivos como plátano y quito quito, el SAF-café fue instalado hace 10 años, dicho uso de suelo tuvo como precedente un área silvopastoril.

3.1.1. Ubicación geográfica y política

La finca se ubica geográficamente en las coordenadas UTM con el datum WGS 84, zona 18 S, descrita en la Tabla 1, y políticamente está ubicada en la Región Natural Yunga, en el distrito de Oxapampa, Provincia de Oxapampa, departamento de Pasco.

Tabla 1. Coordenadas UTM del lugar de ejecución

Nombre	Área (ha)	Este	Norte	Altitud (msnm)
Finca “San Alberto”	4,36	457 994	8 831 497	1 973

3.1.2. Aspectos ambientales

Según el Mapa nacional de ecosistemas del Perú del 2019, el distrito de Oxapampa se encuentra dentro de un ecosistema de Bosque montano de yunga, y de acuerdo con el mapa de clasificación climática (SENAMHI, 2021) el área de estudio tiene un clima lluvioso con humedad abundante durante toda las estaciones del año clasificado como B (r) B'. y se ha registrado una temperatura mínima promedio anual de 12°C y máxima de 25°C, además tiene una humedad relativa media anual de 86% y una presión atmosférica de 1014 h Pa.

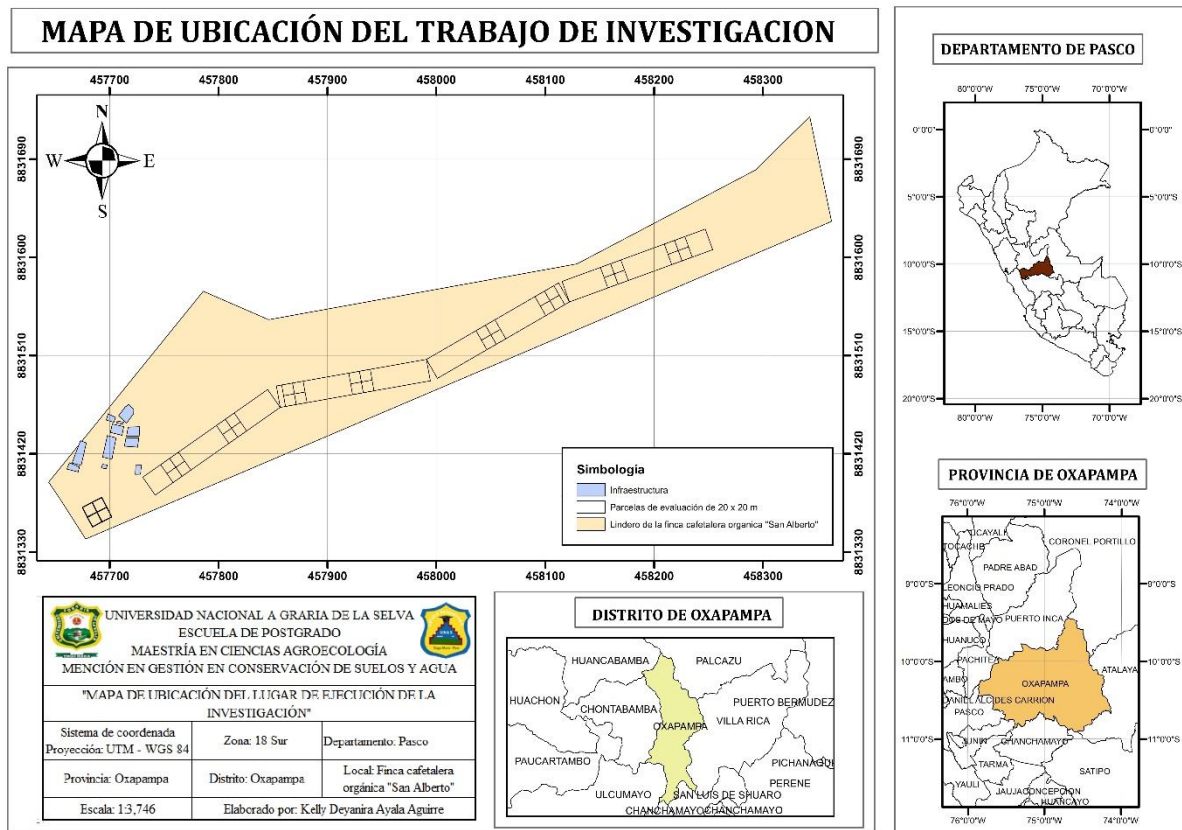


Figura 4. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

- 01 cinta diamétrica
- 01 reflector prisma
- 01 bastón extendible de 2,65 m
- 01 trípode
- 01 flexómetro
- Marcadores indelebles

3.2.2. Equipos

- 01 computador de campo GETAC
- 01 distanciómetro láser Trupulse 360R
- 01 forcípula electrónica

- 01 plomada
- Placas
- 02 marcadores de agua
- 01 libreta de campo
- 01 pintura de agua
- 01 martillo
- 02 frascos para muestras
- 01 pala
- 01 cooler para el transporte de muestras

3.3. Métodos

3.3.1. Población

Comprende el área del sistema agroforestal de café de la finca cafetalera orgánica “San Alberto” que se extiende en una superficie de 4,36 ha y las instalaciones para el procesamiento del café.

3.3.2. Tamaño de muestra

Mediante la ecuación 1 propuesto por Rüginitz *et al.* (2009) se determinó el número de parcelas que fueron 9 de un área de 400 m², mientras que, para la determinación de las emisiones de GEI se consideró como límite del sistema los datos de la campaña 2021-2022

$$n = \frac{(N \times S)^2}{\frac{N^2 \times E^2}{t^2} + N \times S^2} = \frac{(109 \times 0.11)^2}{\frac{109^2 \times 0.074^2}{2^2} + 109 \times 0.11^2} = 9 \quad (1)$$

Donde:

n = Número de parcelas (9)

E = Error permitido a 20% (0.074=0.368 x 0.2)

t = Muestra estadística de la distribución “t” para un nivel de 95% de confianza (t=2)

N = Número de parcelas en el área del estrato (109=4.36ha/0.04ha)

S = Desviación estándar (0.11)

3.3.3. Muestreo

Se instaló 01 Transecto Integral de Monitoreo (TIM) que estuvo constituido por 9 sitios de evaluación de 20 x 20 m, el diseño del transecto fue adaptado por Hernández *et al.*, (2023) quien propone dicho diseño ya que permite tener adecuadas intensidades de muestreo para la caracterización de flora y fauna a nivel predial, ecosistema y de paisaje.

Tabla 2. Coordenadas UTM de los 09 sitios de evaluación del TIM

Sitio	Área	Número de sitio de evaluación	Este	Norte	Altitud (msnm)
S-1	400 m ²	Sitio n° 1	458 050	8 831 529	1 981
S-2	400 m ²	Sitio n° 2	458 104	8 831 560	1 980
S-3	400 m ²	Sitio n° 3	458 163	8 831 584	1 999
S-4	400 m ²	Sitio n° 4	458 220	8 831 607	2 012
S-5	400 m ²	Sitio n° 5	457 931	8 831 485	1 964
S-6	400 m ²	Sitio n° 6	457 869	8 831 474	1 958
S-7	400 m ²	Sitio n° 7	457 811	8 831 443	1 957
S-8	400 m ²	Sitio n° 8	457 760	8 831 407	1 931
S-9	400 m ²	Sitio n° 9	457 688	8 831 366	1 911

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Variables evaluadas

3.3.4.1. Variables independientes

- Densidad de árboles
- Especie forestales
- Consumo de electricidad
- Aplicación de fertilizantes
- Consumo de combustibles fósiles
- Uso de aceites lubricantes
- Generación de aguas residuales
- Generación de residuos orgánicos

3.3.4.2. Variables dependientes

- Huella de carbono (fijación de carbono, emisiones de GEI).

3.3.5. Cuantificación del carbono aéreo almacenado en los árboles y cafetales en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”

3.3.5.1. Geoposicionamiento de los árboles y plantas de café

En cada sitio de evaluación con la tecnología Field Map se realizó el geoposicionamiento de los árboles y de las plantas de café, este software SIG conecta el distanciómetro láser Trupulse 360R, con el que se dispara hacia reflector que se encuentra delante de la planta a posicionar, y como resultado se visualiza en tiempo real la cartografía y las coordenadas (X, Y, Z) en el computador de campo.

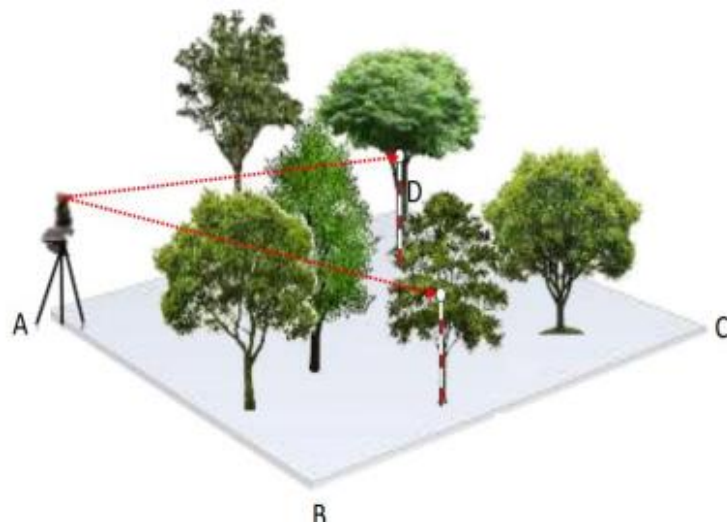


Figura 4. Método de ubicación de los árboles y plantas de café (IFER, 2011)

3.3.5.2. Medición de las variables de diámetro y altura en las especies forestales

Se midió el diámetro de los árboles con una cinta diamétrica a 1.30 metros desde la base del árbol. La altura de los árboles fue medida con el distanciómetro láser Trupulse 360R.

3.3.5.3. Medición de las variables de diámetro y altura de las plantas de café

Se midió el diámetro del tallo principal de las plantas de café con la forcípula electrónica a 15 cm del suelo. La altura de las plantas de café fue medida con un flexómetro iniciando desde la base de la planta hasta el ápice.

3.3.5.4. Colecta de datos para la generación de la ecuación de volumen de los árboles

Los datos fueron colectados con la tecnología Field Map, en el software Field Map Data Colector que muestra en tiempo real el perfil del fuste de cada árbol evaluado, para ello, se seleccionó árboles rectos sin daño biológico y sin daño mecánico, la medición se realizó siguiendo la metodología de IFER (2011) la cual consistió en realizar la medición de la altura total y a la base de la corona de cada árbol seleccionado, seguido se realizó la medición con la cinta diamétrica a 0,5 m, 0,8 m, 1,3 m y a 2 m desde el nivel del suelo, y las mediciones a 1/3 y 3/5 de la altura total del árbol fueron realizadas con el dendroscopio que se encuentra incorporado en la Tecnología Field Map, la muestra considerada fue de 10 individuos por cada clase diamétrica mayores de 5 cm de DAP. Para la generación de la ecuación de volumen el sistema del software tiene incorporada la ecuación de Riemer *et al.* (1995).

$$dh = 2\left(\frac{i}{1 - e^{q(1.3-H)}} + \left(\frac{DAP}{2} - i\right)\left(1 - \frac{1}{1 - e^{p(1.3-H)}}\right)\right) + \frac{\left(\frac{DAP}{2} - i\right)e^{1.3p}}{1 - e^{p(1.3-H)}}e^{-ph} - \frac{ie^{-qH}}{1 - e^{q(1.3-H)}}e^{qh}$$

Donde:

DAP = Diámetro a 1.3m.

H = Altura total.

Di = Diámetro que se alcanza a la altura hi.

e = Base de logaritmos neperianos $\approx 2,71828$.

i, p, q = Constante algebraica

i = Asíntota común de la parte inferior y superior del tallo.

q = Parámetro que caracteriza la parte superior del tallo.

p = Parámetro que caracteriza la parte inferior del tallo

3.3.5.5. Cálculo del almacenamiento y fijación de carbono en la biomasa aérea del café

Para el cálculo de la cantidad de carbono (C) almacenado por las plantas de café (kg) se utilizó la siguiente ecuación:

$$C = \text{biomasa} \times \text{fracción de carbono} \quad (2)$$

Donde:

C = Carbono total en kg

Biomasa = Kg

Fracción de carbono = 0.50 Yepes *et al.* (2007).

Para el cálculo de la biomasa aérea de las plantas de *Coffea arabica* (café) para sistemas agroforestales, se estimó utilizando la ecuación alométrica propuesto por Segura *et al.* (2006):

$$\text{Log}(BT) = -1.113 + 1.578 \times \text{Log}(d_{15}) + 0.581 \times \text{Log}(h) \quad R^2 = 0.94 \quad (3)$$

Donde:

B_T = Biomasa aérea total (kg/planta)

d_{15} = Diámetro del tallo (cm) a 15 cm

h = Altura total (m)

Log = Logaritmo base 10

3.3.5.6. Cálculo del almacenamiento y fijación de carbono en la biomasa aérea de los árboles

Para el cálculo de la cantidad de carbono (C) almacenado en los árboles (kg) se utilizó la siguiente ecuación:

$$C = \text{Biomasa} \times FC \quad (4)$$

Donde:

C = Carbono total en kg

B = Biomasa en kg

FC = Fracción de carbono 0,5 Yepes *et al.* (2007).

Para el cálculo de biomasa para los árboles, se utilizó la siguiente ecuación propuesto por el IPCC (2005):

$$BT = V \times D \times FEB \quad (5)$$

Donde:

B_T = Biomasa de árboles de materia seca total (Kg)

V = Volumen maderable del árbol (m^3)

D = Densidad con corteza del árbol (m^{-3})

FEB = Factor de expansión de biomasa para conversión de madera del fuste a biomasa aérea

La ecuación de volumen utilizada para el cálculo del volumen fue la que se generó previamente en campo mediante la metodología de IFER (2011).

$$Volumen(m3) = [3.2416x(10(-8))x(DAP)]^{2.9342} \quad R2 = 0.98 \quad (6)$$

Donde:

V = Volumen maderable del árbol (m^3)

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)

La tasa de fijación de carbono en los árboles y arbustos de café se estimó dividiendo el almacenamiento de carbono de la biomasa aérea con la edad promedio.

3.3.6. Cálculo de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) totales generadas en el manejo y procesamiento del grano del café en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”

La cuantificación de las emisiones de los GEI, fue realizada bajo los requerimientos establecidos en la metodología IPCC y de la norma ISO 14067:2018, el estudio abarca el estudio de la huella de carbono parcial (HCP), abarcando etapas desde el manejo de la finca hasta el procesamiento del grano, no se consideró la etapa de uso y disposición final, la unidad funcional fue de 1kg de café molido, para ello, previamente se realizó un análisis de flujos de entrada y salida de cada proceso, que fueron las siguientes:

La materia prima del café es obtenida de la Finca cafetalera orgánica “San Alberto”, en donde tiene cultivos de café de las variedades de Catimor, Típica, Costa rica 95, Caturra, Geisha, Borbón amarillo y rojo.

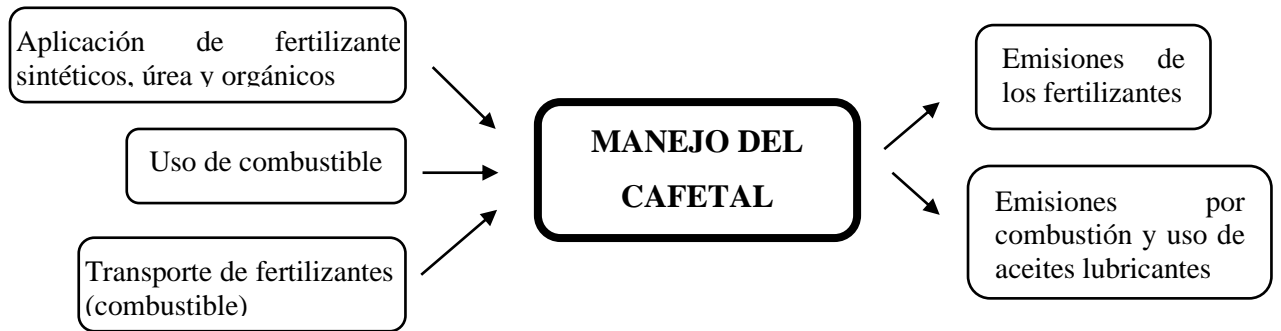


Figura 5. Diagrama de flujo de entrada y salida para el proceso de manejo del cafetal.

La recolección de los frutos maduros se realiza por parte del personal en canastas, que después son trasladados a la planta procesadora de café “Abigail”. La producción de café de la campaña 2021-2022 fue de 10 347 kg de café cerezo.



Figura 6. Diagrama de flujo de entrada y salida para la cosecha del café

El proceso de despulpado y lavado del café se realiza en una planta procesadora para café cerezo “Abigail”, en donde separa la pulpa del fruto, en dicho equipo también el café es lavado.

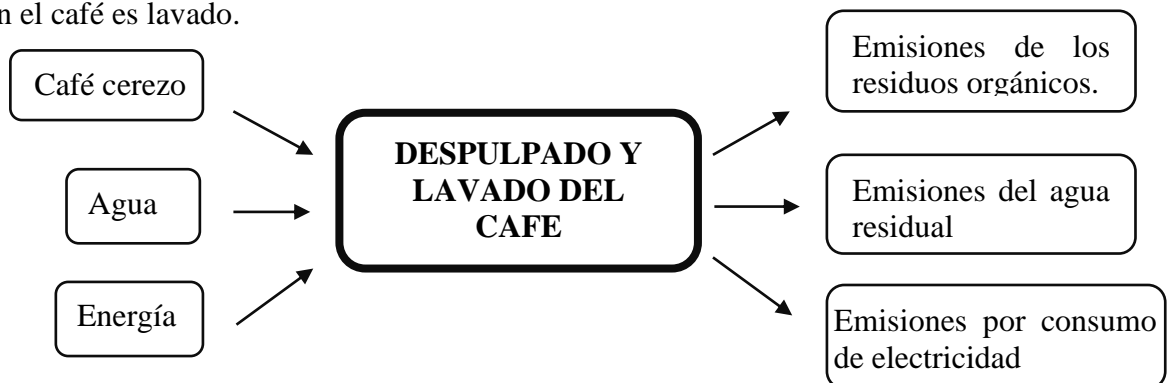


Figura 7. Diagrama de flujo de entrada y salida para el proceso de despulpado del café

El secado es la etapa en donde se reduce la humedad del grano, hasta un porcentaje que permita su almacenamiento, el secado del café se realiza bajo sol, por tanto, no hay consumo recursos.



Figura 8. Diagrama de flujo de entrada y salida para el proceso del secado del café.

El proceso del trillado y clasificación se realiza mediante una maquina trilladora de café, que retira la cáscara de los granos para dejarlos listos para el tostado.



Figura 9. Diagrama de flujo de entrada y salida para el proceso de trillado del café

El proceso del tostado se realiza mediante una maquina tostadora de café, aplica calor a los granos hasta dejarlos listos para molerlos

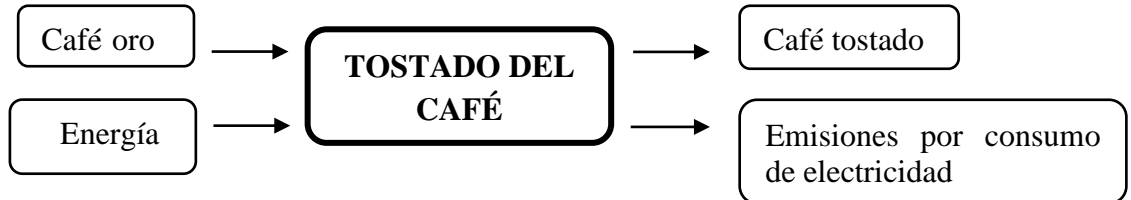


Figura 10. Diagrama de flujo de entrada y salida para el proceso de tostado del café

El molido del café los granos del café son pasados por una máquina de molino y quedan listos para su empaque.

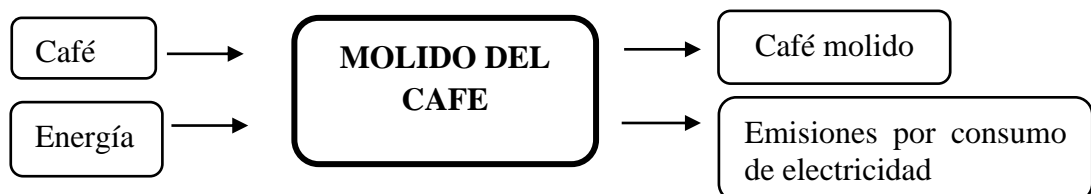


Figura 11. Diagrama de flujo de entrada y salida para el proceso de molido del café.

Finalmente se realiza el envasado del café, que se realiza en bolsas de trilaminada.



Figura 12. Diagrama de flujo de entrada y salida para el envasado del café.

Una vez identificadas las fuentes de emisión se realizó la colecta de datos, mediante encuestas, entrevistas y verificación de los datos de la bitácora de la finca, los datos colectados fueron según lo establecido en la sub fuente de emisión de la Tabla 3.

Tabla 3. Fuentes de emisión de GEI en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.

Proceso	Alcance	Fuente de emisión	Sub fuente emisión	Tipo de emisión
Manejo del cultivo	Alcance 1	Aplicación de fertilizantes	Sintéticos nitrogenados, orgánicos, cal y úrea	Directa
		Consumo de combustibles	Motoguadaña de la finca, vehículos propios para el transporte de los insumos	Directa
		Uso de aceites lubricantes	Motoguadaña de la finca	Directa
Procesamiento del café	Alcance 1	Tratamiento de residuos orgánicos	Compostaje de los residuos orgánicos, despulpe y trillado	Directa
		Tratamiento de aguas residuales	Aguas residuales del despulpe del café vertidas en el cuerpo receptor	Directa
	Alcance 2	Consumo de electricidad	Consumo de electricidad de los equipos para la transformación del café (despulpadora, trilladora, tostadora, molino)	Indirecta
	Alcance 3	Tratamiento de residuos sólidos	Residuos orgánicos del procesamiento del café	Otras indirectas
Tratamiento de aguas residuales		Aguas residuales	Otras indirectas	
		Empaque	Empaque para el café	Otras emisiones indirectas

3.3.6.1. Cuantificación de las emisiones de GEI por aplicación de fertilizantes sintéticos, úrea y orgánicos

El cálculo de las emisiones de las fuentes identificadas en el análisis de flujo de entrada y salida de cada proceso, fueron realizado según la metodología del IPCC.

$$E_{fe} = (FexN) \times (FEfe) \times \left(\frac{44}{28}\right) \times (PCGN20) \quad (6)$$

Donde:

E_{fe} = Emisiones de CO₂ equivalente por aplicación de fertilizantes (kg CO₂e)

F_e = Cantidad total de fertilizante aplicado durante el año (kg total fertilizante).

N = Razón de Nitrógeno contenida en el total del fertilizante (kg N/kg total de fertilizante).

FE_{fe} = Factor de emisión en aplicación de Nitrógeno (kg N₂O-N/kg N)

$44/28$ = Razón de conversión de emisiones de N₂O-N en emisiones de N₂O

PCG_{N20} = Potencial de Calentamiento Global del N₂O (kg CO₂e /kg N)

Las emisiones de CO₂ por la aplicación de urea no se estimó debido a que los resultados del pH del análisis de suelo salieron 5,41, es decir, menor a 6,2 que es el valor referencial para el cálculo adicional de las emisiones de CO₂

3.3.6.2. Cuantificación de las emisiones de GEI por aplicación de úrea

Se calculó las emisiones de N₂O provenientes de la aplicación de úrea mediante la ecuación 6, seguido se estimó las emisiones de CO₂ mediante la Ecuación 7. Finalmente, ambas emisiones fueron sumadas.

$$E_{\text{Úrea}} = U \times (FEu) \times \left(\frac{44}{12}\right) \times (PCGCO2) \quad (7)$$

Donde:

$E_{\text{úrea}}$ = Emisiones de CO₂ equivalente por aplicación de úrea (kg CO₂e)

U = Cantidad total de úrea aplicada durante el 2019 (kg total úrea)

FE_u = Factor de emisión por aplicación de úrea (0,20 kg CO₂ – C/kg total úrea)

$44/12$ = Razón de conversión de emisiones de CO₂-C en emisiones de CO₂

PCG_{CO2} = Potencial de Calentamiento Global de CO₂ (kg CO₂e /kg CO₂)

3.3.6.3. Cuantificación de las emisiones de GEI por el consumo de combustibles

La quema de los motores con los combustibles fósiles produce emisiones de CO₂, N₂O y CH₄, para dicho cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$ECF = CCF \times FE \times PCGX \quad (8)$$

Donde:

E_{CF} = Emisiones de CO₂ equivalente por consumo de combustible (kgCO₂e)

CCF = Consumo total de Combustibles fósiles durante el año.

FE = Factor de emisión del GEI por consumo de combustibles fósiles (kg/L)

PCG_x = Potencial de Calentamiento Global del GEI X (kg CO₂e /kg X)

3.3.6.4. Cuantificación de las emisiones de GEI por el consumo de electricidad

$$EEI = CE \times FE \times PCGX \quad (9)$$

Donde:

E_{EI} = Emisiones de CO₂ equivalente por consumo de electricidad (kgCO₂e)

CE = Consumo total de Electricidad durante el año (kWh).

FE_x = Factor de emisión del GEI _x por consumo de electricidad (kg_x/kWh)

PCG_x = Potencial de Calentamiento Global del GEI X (kg CO₂e /kg X)

3.3.6.5. Cuantificación de las emisiones de GEI por el consumo aceites lubricantes

$$EAL = UAL \times FEual \times PCGX \quad (10)$$

Donde:

E_{AL} = Emisiones de CO₂ equivalente por consumo de aceites lubricantes (kgCO₂e)

UAL = Cantidad total de aceite lubricante utilizado en el año 2019 (L).

FE_{UAL} = Factor de emisión por el uso de aceite lubricante (kg CO₂/L)

PCG_{CO_2} = Potencial de Calentamiento Global de CO₂ (kg CO₂e /kg CO₂)

3.3.6.6. Cuantificación de las emisiones de GEI por la disposición de las aguas residuales del proceso.

$$E_{ARO} = V \times MO \times FE \times PCG(CH_4) \quad (11)$$

Donde:

E_{ARO} = Emisiones de CO₂ equivalente por la gestión de las aguas residuales (kgCO₂e)

V = Consumo total de las aguas residuales en el año 2019 (m³).

MO = Concentración de materia orgánica en el agua residual (kg DBO o DQO/m³)

FE_t = Factor de emisión correspondiente al tratamiento (kgCH₄/kg DBO)

PCG_{CH_4} = Potencial de Calentamiento Global del CH₄ (kg CO₂e /kg CH₄)

3.3.6.7. Cuantificación de las emisiones de GEI por la disposición de los residuos sólidos municipales y compostaje

$$E_{RS} = RSM \times FE \times PCGX \quad (13)$$

Donde:

E_{RS} = Emisiones de CO₂ equivalente por disposición de residuos sólidos (kgCO₂e)

RSM = Cantidad de residuos que recibe un tipo de tratamiento “t” (kg).

FE_x = Factor de emisión por tipo de residuo, tratamiento y GEI específico

PCG_x = Potencial de Calentamiento Global del GEI X (kg CO₂e /kg X)

3.3.7. Determinación de la huella de carbono en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”

Una vez realizado la estimación de las emisiones de GEI en CO₂ eq en cada actividad, se realizó la sumatoria de las emisiones directas e indirectas de todas las actividades, asimismo, se realizó la sumatoria de las remociones de CO₂, como resultado de la

fijación de carbono por los árboles y las plantas de café de la finca. Finalmente se realizó el cálculo del balance neto de la huella de carbono en función de 1kg de café verde y tostado.

$$\mathbf{HC = \sum EMISIONES (CO_2) - \sum REMOCIONES (CO_2)} \quad (14)$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cuantificación del carbono aéreo almacenado en los árboles y cafetales en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”

El almacenamiento total de carbono en la Finca “San Alberto” fue de 69,9 tnC, la densidad promedio de plantas de café por hectárea fue de 5 250 y de árboles fue 238, cabe señalar que, se obtuvo 16,0 tnC/ha (Tabla 4), dicho valor guarda relación con lo reportado por autores como Gonzales (2018) quien determinó un almacenamiento de 16,23 tnC/ha en un SAF café en el Departamento de Huánuco, Rahn *et al* (2013) reportaron 16 tnC/ha y Odar (2018) registró un valor promedio 16,30 tnC/ha. Sin embargo, otros autores reportaron menores valores como lo señalado por Rikxoort & Schroth (2014) con un promedio de 14,3 tnC/ha y Riascos (2020) quien obtuvo valores desde 6,9 hasta 10,77 tnC/ha, cabe señalar que, la densidad de árboles vario desde 69 hasta 156 árboles/ha, dicha densidad es menor a lo registrado en la presente investigación. Por el contrario, Pinoargote (2014) determinó un mayor promedio de fijación de carbono de 26,5 tnC/ha en una densidad de dosel de 465 individuos/ha que es mayor al presente estudio, siendo la densidad un factor determinante en la cantidad del almacenamiento de carbono, ello queda corroborado con el estudio realizado por Odar (2018) quien presentó una influencia entre la disminución del almacenamiento del carbono con la reducción de la densidad media de las plantaciones de café y árboles de sombra, a su vez Hurtado (2019) determinó en un SAF de café asociado con *Eucalyptus saligna* valores mucho más elevados que van desde 190,95 hasta 191,48 tnC/ha, esta notable diferencia se explica también debido a que hay una mayor densidad en promedio de 600 árboles/ha, e inclusive el autor reportó un mayor promedio de DAP de los árboles que osciló desde 27,6 cm hasta 30 cm, mientras que, en el presente estudio se obtuvo un promedio de 16,0cm, además se debe tener en cuenta que, la densidad básica de la especie en mención es mayor que del *Pinus tecunumanii*, por consiguiente, el diámetro y la densidad de la madera, son variables que determinan la cantidad de C que la planta contiene en su constitución, además, los autores Ehrenbergerová *et al.* (2016) determinaron un almacenamiento de 60,3 tnC/ha en una densidad de 124 árboles/ha de un SAF café asociado con *Pinus sp.*, es necesario recalcar que, los árboles presentaron un promedio de altura total de 22,2 m, de manera semejante el autor Rahn (2014) registró 41 tnC/ha en un policultivo tradicional asociado con una diversidad de árboles nativos e introducidos con promedios de altura de dosel de 20 a 30 m, dicha diferencia de almacenamiento de carbono es a causa de que ambos autores reportaron un mayor promedio de

altura total respecto a la presente investigación que fue de 8,0 m las diferencias de diámetro y altura que tiene cada individuo tienen una relación directa en el almacenamiento de carbono.

En unidades de CO₂ la finca almacenó 256,8 tn CO₂ a una tasa de fijación anual de 28,6 tn CO₂, mientras por hectárea fue de 6,5 tn CO₂/ha/año (Tabla 4) el valor se encuentra en el rango de los reportado por Segura & Andrade (2012) quienes obtuvieron una tasa de fijación entre 5,9 hasta 13,9 tn CO₂e/ha/año en diferentes sistemas de producción de café, además menciona que el 87% fue fijado en los árboles de sombra, en el presente es estudio el 89,1% del carbono fue fijado por la biomasa árboles y 10,9 % por el cultivo de café.

Tabla 4. Fijación de carbono en la biomasa aérea en el sistema agroforestal de la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.

Fijación de carbono	Densidad individuos/ha	Carbono		Dióxido de carbono	
		tn C	tn C/ha	tn CO ₂	tn CO ₂ /año/ha
Árboles	238	62,3	14,2	228,7	4,9
Café	5 250	7,6	1,8	28,1	1,6
	Total	69,9	16,0	256,8	6,5

4.1.1. Cuantificación de carbono aéreo almacenado en las plantas de café

Se determinó que en una densidad promedio de 5 250 plantas de café/ha de una edad promedio de 4 años, diámetro promedio de 2,9 cm y altura de 0,9 m, un carbono almacenado de 1,8 tn C/ha (Tabla 4), el resultado concuerda con lo reportado por Isminio (2006) quien reportó un rango de carbono acumulado en el cultivo de *Coffea arabica* desde 1,3 hasta 2,4 tnC/ha, en contraste con el autor Pinoargote (2014) quien estimó un carbono almacenado en las plantas de café desde 3,4 tn C/ha hasta 7,8 tn C/ha y Odar (2018) quien registró valores más altos que osciló desde 2,5 hasta 10,7 tnC/ha, cabe recalcar que, el autor reportó una densidad promedio de 5 917 plantas de café/ha, con un diámetro promedio de 9 cm y altura promedio de 1.63 m, dichos valores explican la diferencia entre el almacenamiento de carbono ya que en el presente estudio fueron menores a los descritos.

En valores de CO₂ hay una tasa anual de fijación de 1,6 tn CO₂/ha (Tabla 4), el valor concuerda con el rango reportado por Segura & Andrade (2012) quienes obtuvieron una tasa de fijación del carbono en las plantas de café desde 0,2 hasta 2,1 tn CO₂/ha/año, por el contrario, Zaldaña (2019) reportó un menor valor desde 0,91 hasta 1,2 tn CO₂ /ha.

4.1.2. Cuantificación del carbono aéreo almacenado en los árboles.

Se registró un almacenamiento de carbono por la vegetación arbórea de 14,31 tnC/ha (Tabla 4), el valor se encuentra dentro del rango registrado por Odar (2018) quien determinó la cantidad de carbono arbóreo en un SAF de café con guaba desde 7,062 hasta 25,6 tnC/ha, de manera semejante Pinoargote (2014) presentó valores desde 10,2 hasta 29,3 tnC/ha, en cambio, Isminio (2006) registró menores valores de almacenamiento de carbono en un SAF con guaba que osciló desde 4,2 tnC/ha hasta 12,8 tn C/ha.

La tasa fijación anual fue de 4,9 tn CO₂/ha (Tabla 4) valores que se encuentran dentro del rango registrado por Segura & Andrade (2012) quienes obtuvieron una tasa de fijación de sus árboles de sombra desde 4,2 hasta 11,8 tn CO₂/ha/año.

4.2. Cálculo de las emisiones de los GEI totales generadas en el manejo y procesamiento del grano del café en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”

En la presente investigación se determinó una emisión total de 2 274,2 kg CO₂/año, el 77 % (Tabla 5) de las emisiones corresponde al proceso del manejo de la finca con una emisión de 1 751,4 kg CO₂/año (Tabla 5), de las cuales se estimó que, la actividad que generó una mayor contribución de emisiones de GEI fue la fertilización en un 53,3% con 1 212,37 kg CO₂ (Tabla 5), valores similares reportaron Segura & Andrade (2012) quienes mencionan que la aplicación de nitrógeno contribuyó entre 63%-82%, Hernández (2018) también menciona que el 84% de sus emisiones es a causa de la fertilización nitrogenada, además Hergoualc *et al* (2012) evidenció mediante una cámara estática que el 84% de las emisiones del suelo de N₂O se emitieron durante los periodos posteriores a la fertilización, en el presente estudio el tipo de fertilizante que influyó en mayor medida las emisiones de GEI fue la aplicación de úrea en un 24%, seguido fue la aplicación de fertilizantes sintéticos nitrogenados con 14,8%, de la misma manera, Albornoz (2017) reportó que la aplicación de úrea tuvo un mayor aporte en sus emisiones de GEI, ello es debido a que las emisiones de N₂O se producen de forma directa con la incorporación de fertilizantes nitrogenados y de manera indirecta mediante el proceso de volatilización como NH₃ y NO_x, IPCC (2016).

De las emisiones del proceso del manejo de la finca se obtuvo una emisión de 1.05 kg CO₂e/kg café verde (Tabla 7), menores valores registraron Segura & Andrade (2012) quienes presentaron resultados entre 0,66 hasta 0,84 kg CO₂e/kg café verde, a excepción del resultado obtenido con el estándar de certificación de producción orgánica en donde reportó un mayor

valor de 22 kg CO₂e/kg café verde, ello debido a las altas dosis de fertilizantes orgánicos aplicados (102 t/ha/año) y el mayor uso de combustibles fósiles para su transporte a la plantación de café, asimismo, Albornoz (2017) obtuvo un mayor valor de 1,52 kg CO₂e/kg café, debido a las emisiones de fertilizantes y combustibles, Rahn *et al.* (2013) reportó emisiones de fue 5.81 kg CO₂/kg café pergamino.

El 23 % (Tabla 5) de las emisiones de GEI (522,14 kg CO₂) se generaron de las actividades del procesamiento del grano del café, de las cuales la actividad que generó una mayor contribución fue el tratamiento de las aguas residuales que representa un 12,32% de las emisiones de GEI total con 280,04 kg CO₂, seguido fue la gestión de residuos orgánicos del despulpe (compostaje) representando un 4,6% con 104,7 kg CO₂ (Tabla 6) y se obtuvo una emisión de 0,28 kg CO₂e/kg café verde (Tabla 7), dicho valor se encuentra en el rango de lo presentado por Segura & Andrade (2012) quienes reportaron emisiones desde 0,18 hasta 0,43 kg CO₂e/kg café verde, el mayor valor de emisión es a causa del uso de gran cantidad de leña de la misma finca, mientras que, en el presente estudio no se hizo uso de este recurso.

Tabla 5. Emisiones de los GEI debido al manejo del cultivo de café y en el procesamiento del grano de café en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.

Proceso	Actividad	Emisión (kg CO ₂)	%	% Por proceso
Manejo de la finca	Fertilización	1 212,37	53,3%	77%
	Control de Malezas	366,79	16,13%	
	Cosecha	172,257	7,58%	
Beneficio Húmedo	Despulpado de la fruta	396,44	17,42%	23%
	Trillado y clasificación	72,53	3,19%	
Beneficio Seco	Tostado	12,56	0,55%	
	Molino	3,35	0,15%	
	Envasado	37,72	1,66%	
Total		2 274,23	100%	100%

Tabla 6. Resultado de las emisiones de CO₂ en las actividades y procesos de la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.

Etapa	Proceso	Actividades	Tipo de emisión	Emisión de CO₂ e (kg) por actividades	Total, emisión de CO₂ e (kg) por actividades	Emisión de CO₂ e (kg) por proceso	
Manejo de la finca	Fertilización	Aplicaciones fertilizantes sintéticos nitrogenados	Directa	337,31	337,31 (14,8%)	1 212,37	
		Aplicación de fertilizante orgánico (guano de isla)	Directa	166,57	166,57 (7,3%)		
		Aplicación de úrea	Directa	574,67	574,67 (24%)		
	Control de malezas	Uso de combustible para transportar los fertilizantes e insumos		Directa	132,89	133,82 (5.8%)	366,79
					0,35		
					0,58		
	Cosecha	Uso de combustible para el uso de motoguadaña		Directa	362,54	365,06 (16%)	172,26
					0,95		
					1,57		
		Uso de aceites lubricantes		Directa	1,72	1,72 (0.07%)	
	Uso de gasolina para el transporte del café cerezo a la planta		Directa	171,065	172,26 (7.5%)		
				0,449			
				0,743			

Etapa	Proceso	Actividades	Tipo de emisión	Emisión de CO₂ e (kg) por actividades	Total, emisión de CO₂ e (kg) por actividades	Emisión de CO₂ e (kg) por proceso
Beneficio Húmedo del café	Despulpado de la fruta	Uso de electricidad en la Planta Abigail	Indirecta	11,63	11,63 (0.5%)	396,4
		Agua residual del despulpe	Directa	275,95	280,0 (12.3%)	
			Directa	4,08		
		Gestión de residuos orgánicos del despulpe (compostaje)	Directa	104,298	104,76 (4.6%)	
Beneficio seco del café	Trillado y clasificación	Residuos orgánicos del trillado	Directa	46,56	72,74 (3,18%)	126,38
		Uso de electricidad para el trillado	Indirecta	26,17		
	Tostado	Uso de electricidad para el tostado	Indirecta	12,56	12,56 (0,5%)	
	Molino	Uso de electricidad para el molino	Indirecta	3,35	3,36 (0,14%)	
	Envasado	Uso de electricidad para el envasado	Indirecta	0,10	37,72(1,62%)	
		Uso de bolsas de trilaminado	Directa	37,62		
Total, emisiones de GEI						2 274,23

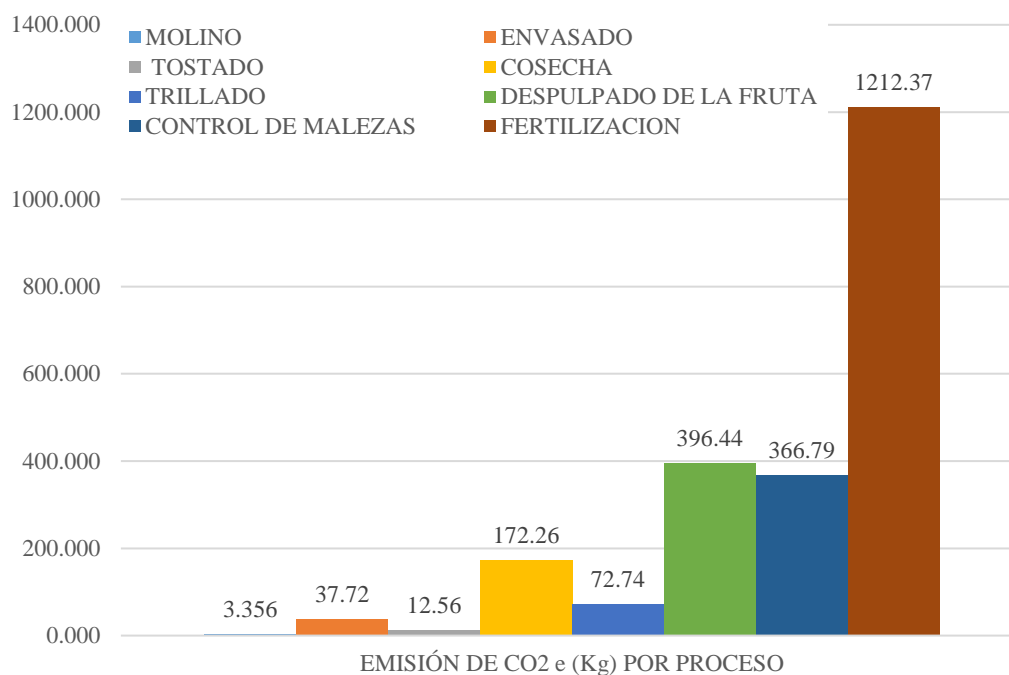


Figura 13. Emisión anual de CO₂ por cada actividad en la Finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.

La emisión de GEI total fue de 1,34 kg CO₂e/kg café verde (Tabla 7), dicho resultado guarda coherencia con lo reportado por Hernández *et al.* (2018) quienes presentaron un resultado que oscila desde 1,05 hasta 3,15 kg CO₂e/kg café y Segura y Andrade (2012) presentaron resultados desde 0,99 hasta 1,27 kg CO₂e/kg café verde, en contraste con lo reportado por Rixsort (2014) quien presentó un promedio de 8,3 kg CO₂ e/kg café pergamino, esto debido a que las emisiones de fermentación y aguas residuales contribuyeron en un 57% (con un valor promedio de 4,7 kg CO₂/kg café) en sus emisiones, en el presente estudio solo contribuyeron un 12,3%, asimismo, el autor Albornoz (2017) reportó un mayor valor de 3,42 kg CO₂e/kg café, cabe mencionar que, el mencionado autor consideró las emisiones generadas en la distribución que significó un 17% de sus emisiones considerando hasta el puerto, además reporta una emisión de 1,52 kg CO₂/café en la etapa de cultivo, en el presente estudio se obtuvo un menor valor de 1,057 kg CO₂/kg café, de la misma manera Nabin & Maslin (2020) reportaron valores altos de 15,3 kg CO₂e/kg de café verde para la producción de café convencional y 3,51 kg CO₂e/kg de café para café de producción sostenible, el valor elevado de la producción se debió a que el autor consideró las emisiones a la exportación de granos de café a través de buques de carga.

Por otro lado, la emisión total de GEI hasta el proceso del café molido fue de 1,62 kg CO₂e/kg café molido (Tabla 7), valores similares obtuvo Hick citado por Gosalvitr *et al* (2023) de 1,7 kg CO₂e/kg café molido, mientras que, Novita & Edrin (2023) obtuvieron un menor valor de 1,20 kg CO₂e/kg café molido, en contraste con, Gosalvitr *et al* (2023) quien obtuvo un valor más elevado entre 7-7,9 kg CO₂e/kg café molido, cabe señalar que, el cambio de uso de suelo contribuyó en las emisiones en un 56%, y 3-4% el proceso de embalaje, dichos datos no fueron considerados en el presente estudio.

Tabla 7. Emisiones de CO₂ e en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.

Descripción	Producción 2022 (Kg)	Emisiones de kg CO ₂ /kg de café		Total kg CO ₂ /kg de café	Emisiones Tn CO ₂ /ha
		Manejo del cultivo	Procesamiento		
Café cerezo	10 347	0,16	-	0,16	0,40
Café oro verde	1 655,5	1,05	0,28	1,34	0,51
Café molido	1 403,7	1,24	0,37	1,62	0,52

Según la fuente de emisión, la fuente que contribuyó en mayor medida la generación de GEI fue la aplicación de fertilizantes con 47,7% y seguido fue el consumo de combustibles fósiles 29,5% (Tabla 8).

Tabla 8. Fuentes de emisión identificadas en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.

Fuente de emisión	Sub fuente de emisión	Tipo de emisión	Alcance	Emisiones kg CO₂	Porcentaje (%)
Aplicación de fertilizantes	Sintéticos nitrogenado, orgánico y úrea	Directa	1	1078,55	47,7%
Consumo de combustibles fósiles	Combustible para el transporte de insumos	Directa	1	671,14	29,5%
	Combustible para el uso de motoguadaña				
	Combustible para el transporte de café cerezo a la planta				
Uso de aceites lubricantes	Uso de aceites lubricantes	Directa	1	1,72	0,1%
Generación de aguas residuales	Generación de aguas residuales	Directa	1	280,04	12,3%
Consumo de electricidad	Uso de electricidad en la Planta Abigail	Indirecta	2	53,83	2,4%
	Uso de electricidad para el trillado	Indirecta	2		
	Uso de electricidad para el tostado	Indirecta	2		
	Uso de electricidad para el molino	Indirecta	2		
	Uso de electricidad para el envasado	Indirecta	2		
Gestión de residuos orgánicos (Compostaje)	Residuos orgánicos del despulpado	Directa	1	151,32	6,7%
	Residuos orgánicos del trillado	Directa	1		
Envasado	Uso de insumos	Indirecta	2	37,62	1,7%

4.3. Determinación de la huella de carbono en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”

El balance de la huella de carbono resultó ser positivo, es decir que hay una mayor fijación de carbono que de emisiones, lo que impacta positivamente en la sostenibilidad de la agroforestería, en caso del café oro verde fue de 15,93 kg CO₂e/kg de café (Tabla 9), Segura & Andrade (2012) estimaron menores valores desde 2,4 hasta 13,0 kg CO₂e/kg de café, ello es debido a que la fijación de carbono fue en promedio de 13.2 kg CO₂e/kg café verde dicho valor es menor a la presente investigación que fue de 17,2 kg CO₂e/kg café verde, asimismo, Pramulya (2023) reportó una huella de carbono positiva de 1,62 tn CO₂/ha como resultado de una fijación y reducción de CO₂ de 3,63 tn y 0,031 tn respectivamente, mientras que, la emisión fue de 2,03 tn CO₂/ha, esta diferencia se debe a que en la presente investigación se obtuvo una mayor fijación que fue de 6.56 tn CO₂/ha y además en el presente estudio presentó una menor emisión respecto a lo reportado por el autor.

El balance neto de la huella de carbono resultó ser positivo, es decir que hay una mayor fijación de carbono que emisiones, en caso del café oro verde fue de 15,94 kg CO₂e/kg café/año y café molido es 15,66 kg CO₂e/kg café/año (Tabla 9).

Tabla 9. Huella de carbono en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”, Oxapampa, Pasco.

Descripción	Fijación de CO ₂		Emisión de kg CO ₂ e/kg café	Balance neto de la huella de carbono	
	Tn CO ₂ /ha	Kg CO ₂ / kg café		Kg CO ₂ e/kg café	Tn CO ₂ e/ha
Café oro verde	6.56	17,28	-1,34	15,94	6,05
Café molido			-1,62	15,66	6,04

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

1. En la finca “San Alberto” el 75,2% del carbono fue fijado por la biomasa de los árboles y 24,8% por el cultivo de café, la densidad, edad y el DAP fueron factores principales que determinaron la cantidad de carbono fijado.
2. De las emisiones totales de GEI determinadas el 77% corresponde al manejo de la finca, de las cuales, la actividad que generó una mayor contribución en las emisiones de GEI fue la fertilización, el tipo de fertilizante más incidente en las emisiones de GEI fue la aplicación de urea, seguido fue la aplicación de fertilizantes sintéticos nitrogenados.
3. El 23% de las emisiones de GEI corresponde a las actividades del procesamiento del grano del café, de las cuales la actividad que generó una mayor contribución fue el tratamiento de las aguas residuales, seguido fue la gestión de residuos orgánicos del despulpe (compostaje).
4. El balance neto de la huella de carbono resultó ser positivo, es decir, hay una mayor fijación de carbono que emisiones.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Realizar estudios sobre las emisiones de GEI proveniente de las diferentes fuentes de la aplicación de fuentes de nitrógeno con cámaras estáticas en las parcelas, para recolectar las muestras de dióxido de nitrógeno, ya que otorga datos más precisos.
2. Considerar realizar un estudio sobre el efecto de un plan de fertilización que implique la disminución de las emisiones de GEI.
3. Realizar estudios sobre el análisis de alternativas que impliquen una reducción de las emisiones de GEI en los procesos de compostaje y en el tratamiento de las aguas residuales.
4. Considerar otros estudios que integren el estudio del componente económico y productividad en la huella de carbono del café.
5. Estudiar un plan de estrategias de reducción y mitigación de las emisiones de GEI para la Finca cafetalera orgánica “San Alberto”.
6. Considerar en los estudios posteriores los datos climatológicos.

VII. REFERENCIAS

- Aguilar, A. (2020). Emisiones de gases de efecto invernadero en el tratamiento de residuos orgánicos en San Rafael de Heredia https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/30967/274_56-61.pdf
- Andrade, H., Marín, L., y Pachón, D., (2014). Fijación de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café (*Coffea arabica L.*) en Líbano, Tolima, Colombia. *Revista Bioagro*, 26 (2). <https://www.redalyc.org/pdf/857/85731100008.pdf>
- Albornoz, A., (2017). *Huella de carbono del café (Coffea arabica) en Empresa Asociativa Campesina Aruco en Copán, Honduras para el año 2016-2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Zamorano] Biblioteca Wilson Popenoe <https://bdigital.zamorano.edu/items/784e7a94-9e75-4c4f-8f5f-08fa19f5031e>
- Álvarez, G., Rubio, S., Rodríguez, O., y Aviles, P., (2022). *Conceptos básicos de la huella de carbono* (2^{da} edición). AENOR.
- Cabrera, C., Ramos, R., y Galarza, J. (2005). Sistemas Agroforestales aplicables en la Sierra Ecuatoriana. Resultados de una década de experiencias de campo. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3385/1/iniapscbt122.pdf>
- Camargo, M. (2010). The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia*, 69(1), 239-247. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100030>.
- Castillo, H. (2012). Estrategia de producción más limpia para fincas cafetaleras de la cuenca alta del Río Naranjo. Guatemala. [Tesis de maestría, Universidad San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional USAC. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_3247.pdf
- Castillo, R., Roldán, R., Blasco P., Huertas, R., Caballero, D., Moreno, V., y Martínez, L. (2005). Biotecnología ambiental <https://books.google.com.pe/books?id=19ffPAm3E3kC&pg=PA155&dq=ciclo+del+nitr%C3%B3geno&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjhkZCnwbv9AhXoGbkGHYrID6EQ6AF6BAgEEAI#v=onepage&q&f=true>

- Calle, B., Guzmán, B., (2001). Cálculo de la huella de carbono del Ecolodge Ulcumano ubicado en el Sector de La Suiza, Distrito de Chontabamba, Provincia de Oxapampa, Región Pasco” [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]
- Ceballos, E., y Ocaña, S. (2014). Estrategias de mitigación frente al cambio climático en fincas cafeteras de la Unión – Nariño. [Tesis pre grado, Universidad de Nariño]. Repositorio SIREN. <https://sired.udenar.edu.co/2096/1/90148.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL (2004). Metodología de cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina. Documento de trabajo. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37288/Metodolog%EDas_calculo_HC_AL.pdf?sequence=1
- Espinoza, W., Krishnamurthy, L., Vázquez, A., y Torres, A. (2012) Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. Revista Chapingo Serie ciencias Forestales y del Ambiente 18 (1), 57-70 <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v18n1/v18n1a6.pdf>
- Espíndola, C., y Valderrama, J., (2012). Huella de Carbono Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. Información tecnológica 23 (1), 163-176 <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v23n1/art17.pdf>
- Ehrenbergerová, L., Cienciala E., y Habrova, H. (2016) Carbon stock in agroforestry coffee plantations with different shade trees in Villa Rica, Perú. Agroforestry Systems 90, 433-445. https://www.researchgate.net/publication/283246282_Carbon_stock_in_agroforestry_coffee_plantations_with_different_shade_trees_in_Villa_Rica_Peru
- Frohmann, A., Herreros, S., Mulder, N., y Olmos, X. (2012). Huella de carbono y exportaciones de alimentos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.bivica.org/files/huella-carbono.pdf>
- Frohmann, A., y Olmos., X. (2013). Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5e0a7d7c-98bf-4678-8136-6c34bc9e2ebf/content>
- González, M. (2018). Carbono almacenado en sistemas agroforestales de *Coffea arábica* “café” de 4 y 7 años en relación a la gradiente altitudinal, Huánuco [Tesis posgrado, Universidad

Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS
<https://repositorio.unas.edu.pe/browse?value=gradiente&type=subject>

Gosalvitr, P., Cuéllar, R., y Adisa, R. An environmental and economic sustainability assessment of coffee production in the UK. *Revista Chemical Engineering Journal*, (465).
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.142793>

González, M. (2008). Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. [Tesis posgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza] Repositorio CATIE
<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2922e/A2922e.pdf>

Granados, R., Medina, M., y Peña, V. (2014). Variación y cambio climático en la vertiente del Golfo de México: Impactos en la cafecultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(3), 473-485.

Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. (2019). Calentamiento global de 1,5°C. Resumen para responsables de políticas. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf

Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático- IPCC. (2005). Métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del Protocolo de Kyoto <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf/spanish/ch4.pdf>

Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático- IPCC. (2006). Biological treatment of solid waste. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático- IPCC. (2014). Cambio climático 2014; Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos *sobre el Cambio Climático*. Informe de síntesis. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

Hernández, C., Mendoza, W., Tonatiuh, G., Mattos, O., Seijas, D., Hernandez S., Espinoza V., Gámez V., (2023). Sistemas coordinados para el monitoreo de la biodiversidad: un enfoque multiescalar unificado en paisajes forestales. *Revista Biotempo* 20 (2) 171-182. doi:10.31381/biotempo.v20i2.5987

- Hernández, A., Riaño H, Riaño., B., Camacho., A., Posada., S., Valenzuela., A., Vega., S., Valenzuela., A., Vega., C., Murgueitio C., y Castro., C. (2018). Determinación de la huella de carbono en el sistema de producción de café pergamino seco de cuatro Municipios del sur del Departamento del Huila (Colombia). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 9 (2).
- Hergoualc'h., K., Blanchart E., Skiba., U., Henault C., y Harmand M. (2012). Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. *Revista Agriculture Ecosystems & Environment* (148) 102-110. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.018>
- Hurtado, H. (2019). Reserva de biomasa y captura de carbono de un sistema agroforestal de *Coffea arábica*, y *Eucalyptus saligna*, Naranjillo [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de San Martín]. Repositorio UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3765>
- Institute of Forest Ecosystem Research, Ltd. (2011). Stem Analyst, User Instructions Manual, version 0.35.
- Instituto Meteorológico Nacional (2022). Factores de emisión de gases de efecto invernadero. (12^{ma} edición) <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/factores-de-emision-2022/>
- Ismínio, M., (2006) Estimación de carbono en la biomasa aérea del café (*Coffea arábica* var. Catimor) bajo sombra de guaba (*Inga edulis*) en la Provincia de Lamas – Perú. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio UNSM <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/795>
- International Organization for Standardization 14064-1 (2006). Gases de efecto invernadero — Part 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-1:v1:es>
- International Organization for Standardization 14067 (2018). Gases de efecto invernadero – Huella de carbono de productos – Requisitos y directrices para cuantificación <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:es>
- Jorquera, G., (2018) .Introducción a la contaminación atmosférica <https://books.google.com.pe/books?id=-H14EAAAQBAJ&pg=PA44&dq=emisiones+por+aplicacion+de+fertilizantes&hl=es->

419&sa=X&ved=2ahUKEwiN5Ni7nLv9AhURGbKGHZKSCpEQ6AF6BAgJEA#v=onepage&q&f=true)

Ministerio del Ambiente (2016). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2016 y actualización de las estimaciones de los años 2000, 2010, 2012 y 2014. https://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2021/06/Resumen-Ejecutivo-INGEI-2016_Mayo-2021-3.pdf

Ministerio del ambiente (2019). Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/memoria_mapa_ecosistemas.pdf.

Ministerio de Agricultura y Riego (2016). NAMA Café Perú: Primera estimación de línea base de emisiones de gases de efecto invernadero del sector. https://www.researchgate.net/publication/311065432_NAMA_Cafe_Peru_Primer_estimacion_de_linea_de_base_de_emisiones_de_GEI_del_sector_Reporte_CCAFS

Ministerio de Energía y Minas (2018). Factores de emisión nacionales asociados con el consumo de electricidad del sistema eléctrico interconectado nacional. Proyecto Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA) en los sectores de generación de energía y su uso final en el Perú. https://namasenergia.minem.gob.pe/Content/fileman/Uploads/eficienciaenergetica/menu_eficiencia/Factores%20de%20emisi%C3%B3n%20nacionales%20por%20consumos%20de%20electricidad.pdf

Morales, M., Arriaga, R., Lopez, S., Martínez, C., y Morales, R. (2019). Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10 (8) <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n8/2007-0934-remexca-10-08-1875.pdf>.

Naciones Unidas. (1992). Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Nab, C., Maslin M., (2020) Life cycle assessment synthesis of the carbon footprint of Arabica coffee: Case study of Brazil and Vietnam conventional and sustainable coffee production and export to the United Kingdom. *Geography and Environment* <https://doi.org/10.1002/geo2.96>

- Neira, C., (2020). Emisión y fijación de gases de efecto invernadero en el proceso de producción y post producción de café en parcelas agroforestales, en la Coipa, San Ignacio Cajamarca. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca] Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4627>
- Novita., E., Edrin., M., (2022). Life Cycle Assessment of Organic Arabica Coffee Products. *Agricultural Engineering* 12 (1) <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-l.v12i1.186-200>
- Odar, R., (2018). Evaluación de almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café (*Coffea spp.*) en el Anexo de Vilaya, Distrito de Colcamar, Provincia de Luya, Amazonas, 2017 - 2018 [Tesis pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas] Repositorio UNTRM <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1384?show=full>
- Pramulya, R., Bantacut, T., Noor, E., Yani, M., Zulfajrin, M., Setiawan., Bagus, H., Sudrajat, S., Anne, O., Anwar, S., Gamawati, P., Siregar, K., Prasetyo, H., Sisbudi, S., Novita, E., Rahmah, D., Ngoc, N., Agustia, D., y Indra., M. (2023). Carbon Footprint Calculation of Net CO₂ in Agroforestry and Agroindustry of Gayo Arabica Coffee, Indonesia. *Jordan Journal of Biological Sciences* 16 (2) <https://doi.org/10.54319/jjbs/160218>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2017). Línea de base del Sector café en el Perú. Documento de trabajo. <https://www.midagri.gob.pe/portal/pncafe-publicaciones/20118-linea-de-base-del-sector-cafe-en-el-peru#:~:text=L%C3%ADnea%20de%20Base%20del%20Sector,y%20presenta%20los%20principales%20indicadores>.
- Pinoargote, M., (2014) Almacenamiento de carbono y beneficios familiares obtenidos de cafetales en fincas de pequeños productores de Nicaragua [Tesis Posgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza] Repositorio CATIE <https://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/7146>
- Rikxoort, H., Schroth, G., Laderach., P y Rodriguez, B. (2014) Carbon footprints and carbon stocks reveal climate-friendly coffee production. *Agronomy For Sustainable Development*. 34. 887-897. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-014-0223-8>
- Riascos, J., Alejandra, M., Jurado, O., Ramiro, Burbano, R., y Cesar, T. (2020). Evaluación de la captura de carbono en sistemas productivos de café (*Coffea arábica* L.), Consacá,

- Nariño, Colombia. Ciencia y Agricultura 19 (1). 28-44
<https://www.redalyc.org/journal/5600/560070786003/html/>
- Rahn, E., Laderach, P., y Baca. F. (2013) Climate change adaptation, mitigation and livelihood benefits in coffee production: where are the synergies?. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.19. 1119-1137. <https://doi.org/10.1007/s11027-013-9467-x>
- Riemer, T. Gadow, K. V., Slodoba, B. (1995). Ein Modell zur Beschreibung von Baumschaften. Allg Forst-und J-Ztg 166(7) 144-147.
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., y Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: Una realidad oculta
<https://books.google.com.pe/books?id=EjumDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=emisiones+por+aplicacion+de+fertilizantes&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiN5Ni7nLv9AhURGbkGHZKSCpEQ6AF6BAgCEAI#v=onepage&q&f=true>
- Rügnitz, M., Chacón, L., Porro, R. (2009) Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales
- Segura, M., Kanninen, M., Suarez, D. (2006). Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. Agroforest Syst 68:143–150
- Segura, M., Andrade, H. (2012). Huella de carbono en cadenas productivas de café (*Coffea arabica* L.) con diferentes estándares de certificación en Costa Rica. Revista luna azul 35. 60-77. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742012000200005&script=sci_abstract&tlng=es
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI., (2021). Climas del Perú. Mapa de Clasificación climática Nacional, con acceso a <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Serramia, M., (2013). Evaluación de los gases de efecto invernadero en el compostaje de Alperujo y de la Inmovilización de carbono en su aplicación al suelo. [Tesis doctoral, Universidad de Murcia]. Biblioteca universitaria. <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/37811/1/Copia%20digital%20sin%20art%20c3%20adculos.pdf>

- Sistema Integrado de Estadística Aplicada – SEIA (2023) con acceso a https://siea.midagri.gob.pe/portal/siea_bi/index.html
- Solidaridad. (2016). Café 2.0 climáticamente inteligente. Proyecto “Caficultura, conocimiento y carbono para REDD en el Perú (CCC). <https://camcafeperu.com.pe/admin/recursos/publicaciones/Cafe-2.0-climaticamente-inteligente.pdf>
- Snyder, C., Bruulsema, T., y Jensen, T. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Revista Agriculture* (133). 247-266, *Ecosystems and Environment*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021>
- Usuarios F. (2013). El Cambio climático: Sus causas y efectos medioambientales. *Revista Anales de la real academia de medicina y cirugía de Valladolid*, (50), 71-98
- Vargas, D., & Willems, C. (2017) Línea base del sector café en el Perú. [Documento de trabajo] <https://camcafeperu.com.pe/admin/recursos/publicaciones/Linea-base-del-sector-cafe-en-Peru.pdf>
- Van, O., Pascal, B. (2005). Alteration of nitrogen cycling by agricultural activities, and its environmental and health consequences. *Revista Gayana botánica* 62 (2) https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-66432005000200005
- Yepes, A., Navarrete, D., Duque, A., Phillips, J., Cabrera, K., Álvarez, E., García, M., Ordoñez, M. (2011). Protocolo para la estimación nacional y sub-nacional de biomasa - carbono en Colombia. Bogotá D.C., Colombia. Scripto. 162 p.
- Zaldaña, A. (2019). Determinación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero y alternativas para la gestión eficiente de captura de carbono a través de la herramienta Cool FarmTool en los sistemas de producción de *Coffea sp.* En Rodríguez de Mendoza – Amazonas 2018. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas].
Repositorio UNTRM.
<http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1758>

ANEXO

Tabla 10. Carbono almacenado en cada sitio de evaluación en las plantas de café

N° de Sitio	N° de plantas	Promedio de la edad del cultivo (años)	Carbono total (tnC)	Carbono total (tnC/año)	Tn CO ₂ e	Tn CO ₂ e/año
1	248	4	0,099	0,032	0,363	0,116
2	164	0,4	0,002	0,004	0,008	0,016
3	216	0,4	0,002	0,006	0,009	0,022
4	192	0,4	0,004	0,010	0,016	0,037
5	280	4	0,143	0,032	0,525	0,117
6	248	4	0,110	0,022	0,403	0,080
7	244	5	0,141	0,024	0,517	0,088
8	88	2	0,022	0,006	0,081	0,023
9	110	8	0,184	0,024	0,674	0,087
Total, general	1790	4	0,708	0,160	2,597	0,586

Tabla 11. Carbono almacenado en cada sitio de evaluación en los árboles

N° de sitio	N° de plantas	Promedio de edad (años)	Carbono total (Tn)	Carbono total (TnC/año)	Tn CO ₂ e	Tn CO ₂ e/año
1	4	7	0,371	0,053	1,363	0,195
2	13	5	0,311	0,055	1,142	0,202
3	18	5	0,894	0,085	3,282	0,267
4	16	4	0,172	0,042	0,630	0,154
5	3	8	0,165	0,021	0,605	0,064
6	4	8	0,232	0,029	0,851	0,106
7	9	8	0,557	0,062	2,043	0,199
8	5	8	0,336	0,042	1,235	0,154
9	23	20	5,029	0,252	18,455	0,926
Total, general	95	9	8,07	0,64	29,61	2,27

Tabla 12. Potencial de Calentamiento Climático (PCC)

Nombre Común	Fórmula química	PCG
Dióxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28
Óxido Nitroso	N ₂ O	265

Fuente: Adaptado de Greenhouse Gas Protocol (2016) y Ozone Secretariat (2016)

Tabla 13. Factor de emisión de N₂O por uso de fertilizantes sintéticos y orgánicos

Descripción	Factor de emisión	Unidad	Referencia
EF1 para aportes de N de fertilizantes minerales, abonos orgánicos y residuos agrícolas y N mineralizado de suelos minerales a causa de pérdida de carbono del suelo [(Kg N ₂ O-N (Kg N)-1]	0,01	Kg N ₂ O-N/Kg N	(IPCC, 2015)

Fuente: IPCC volumen 4 V4_11_Ch11_N₂O&CO₂ emisiones por la urea.pdf

Tabla 14. Factor de emisión de CO₂, N₂O y CH₄ de por tipo de combustible

Descripción	Factor de emisión	Unidad	Referencia
	2,231	Kg CO ₂ /L	
Gasolina	0,022	Kg N ₂ O/L	(IMN, 2017)
	0,346	Gr CH ₄ /L	
Aceite lubricante	0,510	Kg CO ₂ /L	

Tabla 15. Factor de emisión de CH₄, por tipo de tratamiento de aguas residuales industriales.

Descripción	Factor de emisión	Unidad	Referencia
Laguna anaeróbica profunda	0,2	Kg CH ₄ /kg DQO	(IMN, 2017)

Tabla 16. Factor de emisión de CH₄, y N₂O por tratamiento mediante compostaje de los residuos.

Descripción	Factor de emisión	Unidad	Referencia
Compost	4	gr CH ₄ /kg	(IMN, 2017)
	0,24	gr N ₂ O/kg residuos	

Tabla 17. Factor de emisión de CO₂, por consumo de electricidad en alcance 2.

Descripción	Factor de emisión	Unidad	Referencia
Electricidad	0,15	Kg CO ₂ €/kWh	MINEM (2018)

Tabla 18. Factor de emisión de CO₂, por emisión del uso de bolsas de trilamina.

Descripción	Factor de emisión	Unidad	Referencia
Bolsas	6,7	Kg CO ₂ /kg	

Tabla 19. Potencia de los equipos para el procesamiento del café.

Descripción	Potencia	Unidad	Productividad (kg/h)
Despulpadora	5,5	Hp	700
	1,0	Hp	
Trilladora	5,5	Hp	60
	1,0	Hp	
Tostadora	0,37	Hp	48
	1,0	Hp	
	1,0	Hp	
Molino	0,75	Hp	100
Selladora	2,0	Hp	
	0,3	Hp	

Panel fotográfico



Figura 14. Planta procesadora para café cerezo “Abigail” para el proceso de despulpado y lavado del café cerezo.

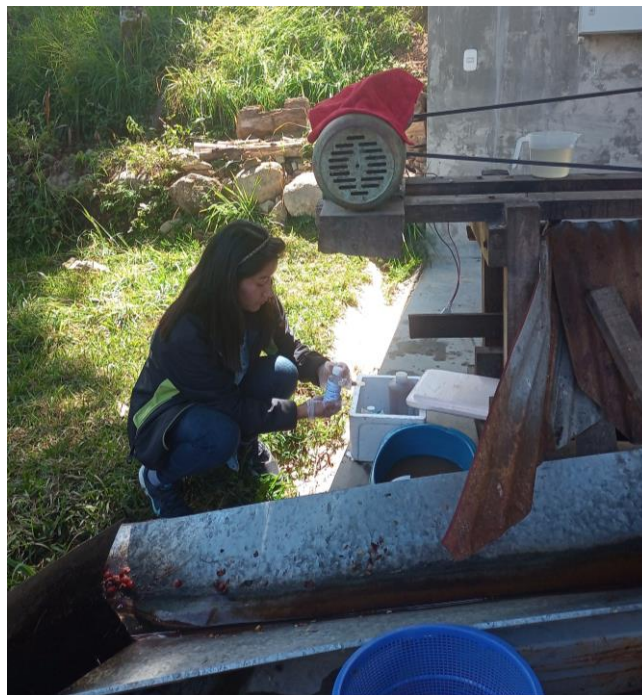


Figura 15. Colecta de muestra del agua residual del despulpado del café



Figura 16. Envasado de la muestra del agua residual del proceso de despulpado del café.



Figura 17. Secador solar del café



Figura 18. Clasificación del café pergamino



Figura 19. Equipo de trillado del café.



Figura 20. Máquina de tostado del café.



Figura 21. Máquina para el molido del café

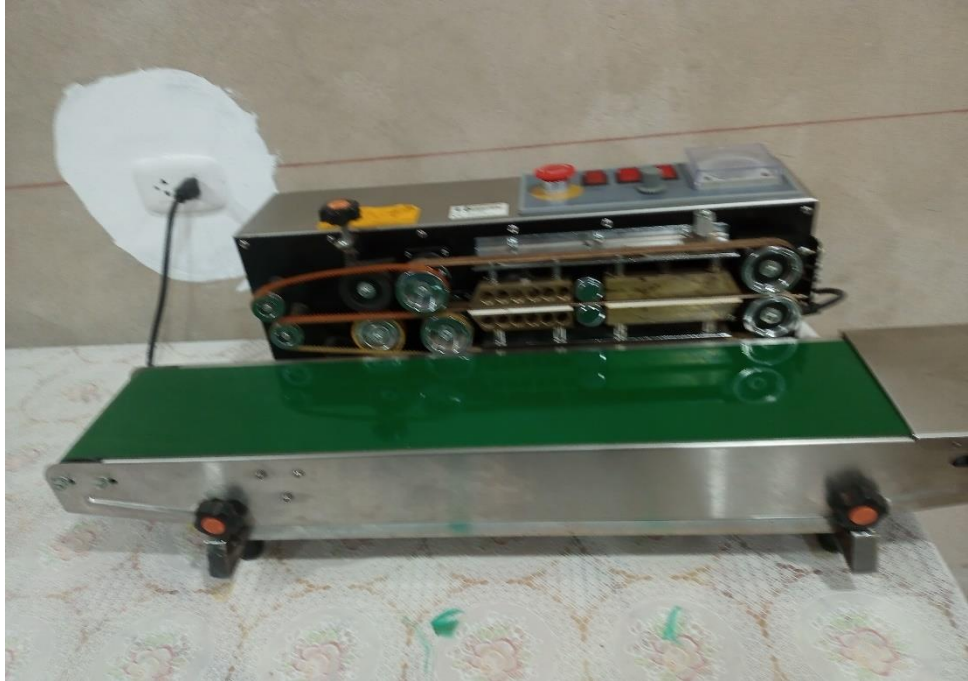


Figura 22. Máquina para el sellado del empaque del café



Figura 23. Compostera



Figura 24. Geoposicionamiento de los árboles y café con la tecnología Field Map



Figura 25. Sistema agroforestal de café en la finca “San Alberto”



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS
QUÍMICOS S.A.C. SLAB**

**INFORME DE ENSAYO
IE-160722-02**

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : GITEC -IGIP GMBH
1.2 RUC/DNI : 20600499549
1.3 Dirección : CAL.RODOLFO RUTTE NRO. 145 (TRANSVERSAL
AV.J.PRADO/4CDRAS AV. BRASIL) LIMA - LIMA - MAGDALENA DEL
MAR

2. FECHAS

2.1 Inicio : 18 de Julio de 2022
2.2 Fin : 27 de Julio de 2022
2.3 Emisión de informe : 30 de Julio de 2022

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

3.1 Temperatura : 20.2 °C
3.2 Humedad Relativa : 52 %

4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA

4.1. ENSAYOS

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA
pH en agua	Relación 1:1 Agua-Suelo (Potenciometría)
Materia Orgánica (MO)	Walkley Black (Volumetría Redox)
Textura, Arena, Limo, Arcilla	Hidrométrico-Bouyoucos

5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Tabla N°1: Datos de la Muestra Analizada

Código Interno de Muestra	Tipo de Muestra	Descripción
S-4288	Suelo Agrícola	Punto de muestreo: Finca San Alberto Procedencia: Oxapampa F. Muestreo: 15/07/2022 / Hora Muestreo: 11:30 am

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

Figura 26. Informe de ensayo del análisis de suelo en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS
QUÍMICOS S.A.C. SLAB**

6. RESULTADOS
6.1. Resultados Físicoquímicos

Tabla N°2: RESULTADOS FÍSICOQUÍMICOS

PARÁMETRO	Unidad	S-4288
pH en agua	U. pH	5.41
Materia Orgánica (MO)	% p/p	9.11
Arena	%	70.00
Arcilla	%	17.50
Limo	%	12.50
Textura	Sin Unid.	Franco Arenoso

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



FIN DE DOCUMENTO

Diego Román Vergaray
DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

Figura 27. Informe de ensayo del análisis de suelo en la finca cafetalera orgánica “San Alberto”



**SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS
QUÍMICOS S.A.C. SLAB**

**INFORME DE ENSAYO
IE-160722-01**

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : GITEC -IGIP GMBH
 1.2 RUC : 20600499549
 1.3 Dirección : CAL.RODOLFO RUTTE NRO. 145 (TRANSVERSAL
 AV.J.PRADO/4CDRAS AV. BRASIL) LIMA - LIMA - MAGDALENA DEL MAR

2. FECHAS

2.1 Inicio : 18 de Julio de 2022
 2.2 Finalización : 27 de Julio de 2022
 2.3 Emisión de informe : 30 de Julio de 2022
 2.4 Observaciones : ---

3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

3.1 Temperatura : 19.6°C
 3.2 Humedad Relativa : 52 %

4. ENSAYO SOLICITADO Y METODO UTILIZADO

4.1 Ensayo solicitado / Método utilizado : Demanda Química de Oxígeno, DQO / SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method. 2017.
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBQ / SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test 2017

5. DATOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

Tabla N°1: DATOS DE LAS MUESTRAS

Código de Laboratorio	Tipo de Muestra	Descripción
S-4285	Agua Residual	" Planta de Procesamiento de Abigail-T1 Procedencia: Finca San Alberto - Oxapampa F. Muestreo: 15/07/2022"
S-4286	Agua Residual	" Planta de Procesamiento de Abigail-T2 Procedencia: Finca San Alberto - Oxapampa F. Muestreo: 15/07/2022"
S-4287	Agua Residual	" Planta de Procesamiento de Abigail Procedencia: Finca San Alberto - Oxapampa F. Muestreo: 15/07/2022"

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.


 DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
 QUÍMICO
 CQP. 1337

Figura 28. Informe de ensayo del análisis del agua residual procedente de la Planta procesadora “Abigail”



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C. SLAB

6. RESULTADOS 6.1. Resultados Obtenidos

Tabla N° 2: Resultados obtenidos

Código de laboratorio	Descripción	Parámetro	Unidad	Resultado
S-4285	Planta de Procesamiento de Abigail-T1	Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg O ₂ /L	19065.817
S-4286	Planta de Procesamiento de Abigail-T2	Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg O ₂ /L	281.953
S-4287	Planta de Procesamiento de Abigail	Demanda Biouímica de Oxígeno, DBO ₅	mg DBO ₅ /L	1029.00

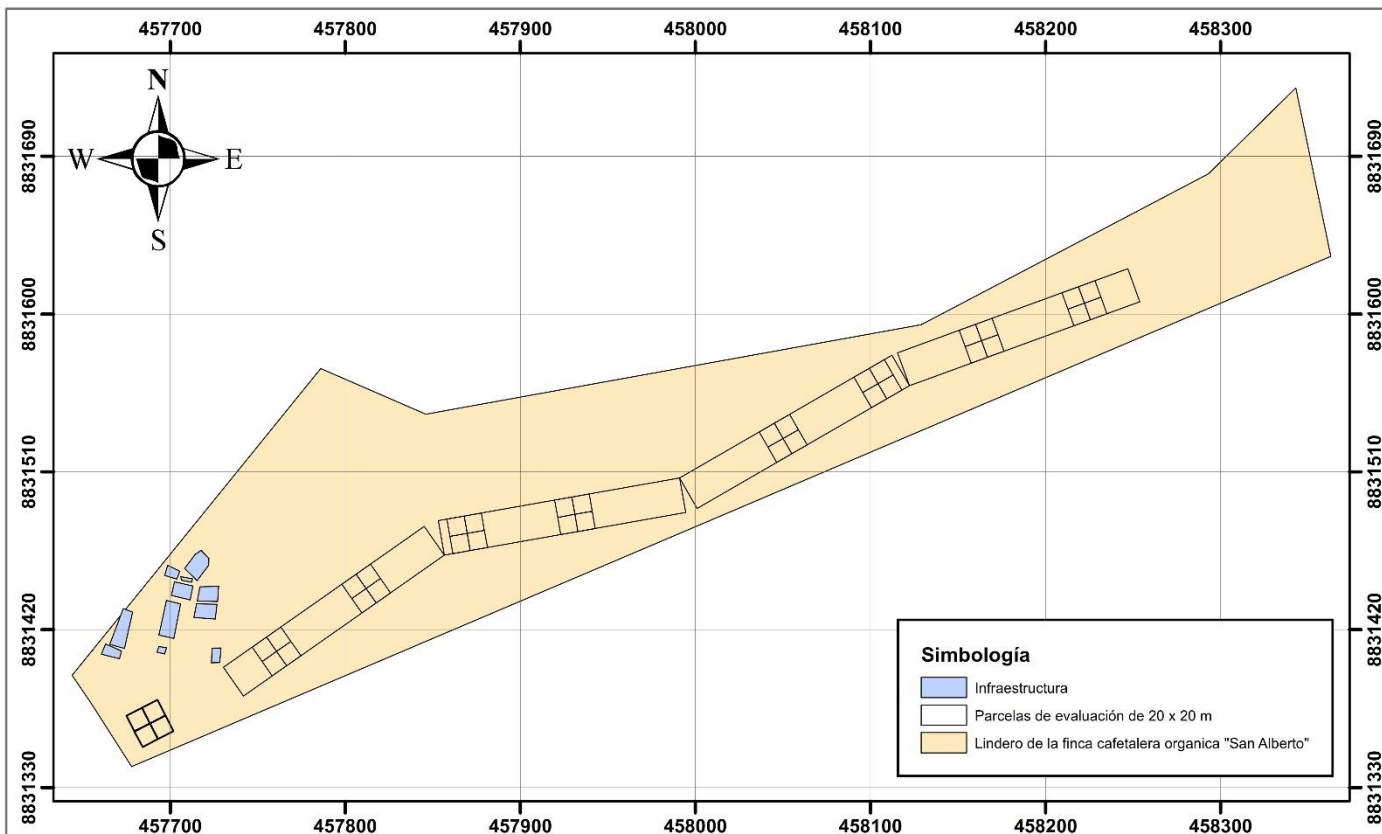
- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



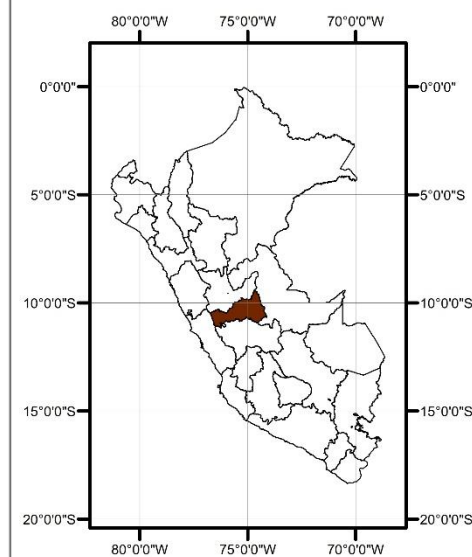

 DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
 QUÍMICO
 CQP. 1337

Figura 29. Informe de ensayo del análisis del agua residual procedente de la Planta procesadora “Abigail”.

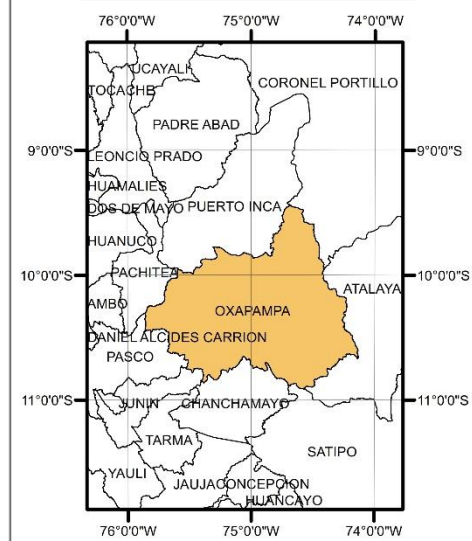
MAPA DE UBICACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACION



DEPARTAMENTO DE PASCO





PROVINCIA DE OXAPAMPA



DISTRITO DE OXAPAMPA



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA ESCUELA DE POSTGRADO MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROECOLOGÍA MENCION EN GESTIÓN EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA</p> 		
<p>"MAPA DE UBICACIÓN DEL LUGAR DE EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN"</p>		
Sistema de coordenada Proyección: UTM - WGS 84	Zona: 18 Sur	Departamento: Pasco
Provincia: Oxapampa	Distrito: Oxapampa	Local: Finca cafetalera orgánica "San Alberto"
Escala: 1:3,746	Elaborado por: Kelly Deyanira Ayala Aguirre	

MAPA DE LA INSTALACIÓN DE LAS 9 PARCELAS DE EVALUACIÓN EN EL TRANSECTO INTENGRAL DE MONITOREO

